Цена 1 р. 75 к.



МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Под общей редакцией академика А. И. БЕРГА

ПЕЧАТАЮТСЯ И В БЛИЖАЙШЕЕ ВРЕМЯ ПОСТУПЯТ В ПРОДАЖУ

БОРИСОВ Н. С., Приемник местного приема

ЕНЮТИН В. В., Как производить настройку и испытание приемника при помощи сигнал-генератора

Звукозапись (экспонаты 7-й Всесоюзной заочной радиовыставки)

ЛАБУТИН В. К., Простейшие радиолюбительские конструкции

Массовые радиоприемники (экспонаты 7-й Всесоюзной заочной радиовыставки)

ВЫШЛИ ИЗ ПЕЧАТИ И ПОСТУПИЛИ В ПРОДАЖУ

Вспомогательное радиооборудование (экспонаты 7-й Всесоюзной заочной радиовыставки). 40 стр., ц. 1 р. 25 к.

ЕНЮТИН В. В., Шестнадцать радиолюбительских схем. 80 стр., ц. 2 р. 75 к.

ЛЕВИТИН Е. А., Параметры радиоприемников. 88 стр., ц. 2 р. 50 к.

СНИЦЕРЕВ Г. А., Графический расчет коротковолновой катушки. 24 стр., ц. 75 к.

ТАРАСОВ Ф. И., Практика радиомонтажа. 48 стр., ц. 1 р. 50 к.

Учебно-наглядные пособия (экспонаты 7-й Всесоюзной заочной радиовыставки). 48 стр., ц. 1 р. 50 к.

ПРОДАЖА во всех книжных магазинах КОГИЗ'а и киосках Союзпечати



Г. В. ПАНКОВ

ОСНОВЫ ЧАСТОТНОЙ МОДУЛЯЦИИ



ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

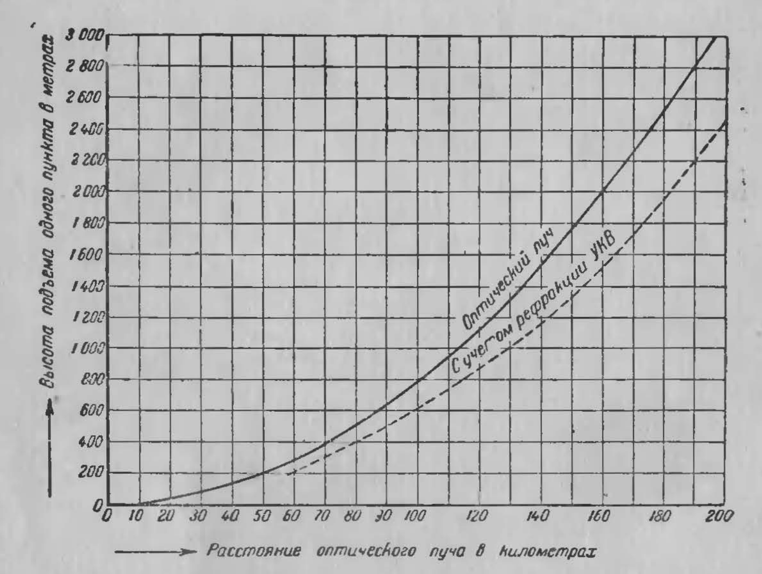


График для определения расстояния оптического луча при одной приподнятой точке.

МАССОВАЯ РАДИО БИБЛИОТЕКА

ПОД ОБЩЕЙ РЕДАКЦИЕЙ АКАДЕМИКА А. И. БЕРГА

Выпуск 51

Г. В. ПАНКОВ

ОСНОВЫ ЧАСТОТНОЙ МОДУЛЯЦИИ

Рекомендовано Управлением технической подготовки Центрального комитета добровольного общества содействия армии в качестве пособия для радиоклубов



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

МОСКВА 1949 ЛЕНИНГРАД

В книге излагаются основные принципы частотной модуляции, ее преимущества по сравнению с амплитудной модуляцией и ее недостатки. Указываются основные области ее применения, приводятся схемы и конструкции приемников частотной модуляции.

Книга рассчитана на подготовленных радиолюбителей и любителей телевидения.

Редактор *А. А. Куликовский* Технический редактор *Г. Е. Ларионов*

Сдано в набор 24/VIII 1949 г. Подписано к печати 20/XII 1949 г.
Объем 3,5 п. л. 3,5 уч.-изд. л. 40 000 тип. зн. в 1 п. л.
А-16886 Формат бумаги 84×108 1/32 Тираж 25 000 экз. Заказ 2289

Типография Госэнергоиздата. Москва, Шлюзовая наб., 10.

ЧАСТОТНАЯ МОДУЛЯЦИЯ

Название частотная модуляция (ЧМ) все чаще встречается на страницах радиожурналов и книг. Эта молодая область радиотехники с каждым днем привлекает все большее внимание радиолюбителей, радиоспециалистов и научно-исследовательских институтов. Все шире становится ее применение. Непрерывно растет количество передатчиков с частотной модуляцией как радиовещательных, так и различного рода передатчиков служебной и оперативной связи.

Что же такое частотная модуляция и какие достоинства позволили ей заслужить такое внимание?

В истории радиотехники неоднократно случалось, что после долгих и тщетных попыток разрешить какое-нибудь противоречие специалисты, а очень часто и любители, находили вдруг совершенно неожиданное решение, открывающее новые пути и возможности. Так было, когда опыты радиолюбителей с короткими волнами неожиданно показали возможность устанавливать связь на огромных расстояниях при очень малых мощностях передатчиков. Так было, когда изобретение многоэлектродных ламп позволило создавать схемы с большим усилением. Так было с использованием ультракоротких волн. Так произошло и с частотной модуляцией.

Уже многие годы ученые, изобретатели, конструкторы и любители работают над вопросом о том, как избавиться от помех радиоприему. Атмосферные помехи, создаваемые, главным образом, грозовыми разрядами и распространяющиеся на многие тысячи километров (в Москве, например, мешают приему атмосферные помехи из Средней Азии и Африки); промышленные помехи, создаваемые всевозможными электрическими машинами и приборами, и, наконец, так называемые внутриприемные помехи, возникающие в самом приемнике, очень сильно мешают радиоприему.

Больше всего сказывается действие помех на длинных и средних волнах. На коротких волнах помех меньше. Еще меньше помех на ультракоротких волнах. Однако, даже на

ультракоротких волнах системы электрозажигания автомашин, электрические звонки, электросварка, рентгеновские аппараты и многие другие устройства создают иногда невыносимые трески и грохоты в громкоговорителе. Кроме того, при большой чувствительности приемника звучание передачи сопровождается назойливым шипением внутриприемных помех. Такие меры борьбы с помехами, как увеличение мощности передающих станций, создание подавителей помех, использование направленных антенн, не всегда применимы и дают лишь небольшое улучшение приема.

Уменьшить помехи можно, сузив полосу пропускания приемника, но при этом ухудшится качество приема. Дело в том, что при радиопередаче с амплитудной модуляцией полоса пропускаемых контурами приемника частот должна быть вдвое шире, чем диапазон передаваемых звуковых частот. Если высшая звуковая частота, которую хотят передать, равна 5 000 *гц*, то ширина полосы пропускания приемника должна быть равна 10 *кгц*. Если сузить полосу пропускания, то действие внешних помех и внутриприемных шумов уменьшится, но приемник перестанет принимать высшие звуковые частоты, звучание будет искаженным, невыразительным.

Область слышимых человеком звуковых частот простирается от 16 до 16 000 *гц*. Для очень хорошей художественной передачи нужно было бы передавать именно такую широкую полосу звуковых частот и иметь полосу пропускания приемника порядка 32 *кгц*. Но при этом влияние помех сделается очень сильным.

Таким образом, получается противоречие: для уменьшения помех нужно сужать полосу пропускания приемника, но это снижает качество передачи. Для улучшения качества передачи необходимо увеличивать полосу пропускания, но это усиливает действие помех. Разрешить это противоречие между требованием высококачественного приема и требованием отсутствия помех очень трудно.

Применение частотной модуляции позволило разрешить это противоречие и осуществить высокохудожественный, высококачественный прием на ультракоротких волнах без помех. В чем же отличие частотной модуляции от модуляции амплитудной?

При амплитудной модуляции амплитуда тока высокой частоты изменяется по закону модулирующих колебаний. Например, при передаче звуковых колебаний звуковые волны, падающие на микрофон, изменяют амплитуду колебаний, излучаемых радиопередатчиком, причем чем больше сила

звука перед микрофоном, тем сильнее изменяется амплитуда колебаний высокой частоты. Амплитуда колебаний высокой частоты остается постоянной только тогда, когда микрофон не воспринимает никаких звуков (фиг. 1).

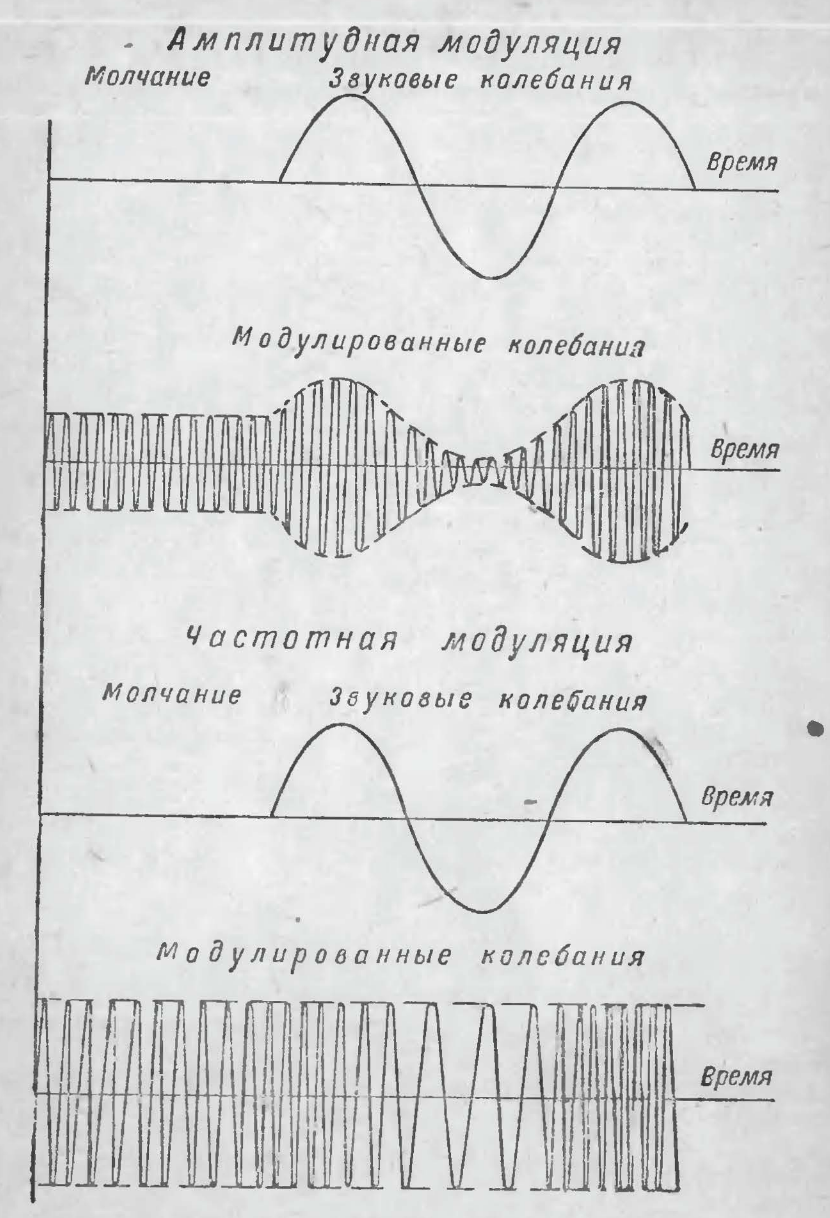
При частотной модуляции амплитуда колебаний высокой частоты остается все время неизменной, а под действием звука, воспринимаемого микрофоном, изменяется частота излучаемых передатчиком колебаний. Частота излучаемых колебаний остается постоянной только тогда, когда микрофон не воспринимает звуков. Наибольшее отклонение высокой частоты от своей средней величины при частотной модуляции называется девиацией частоты. При передаче громких звуков девиация получается большой, при слабых звуках девиация тоже оказывается слабой. При правильной работе передатчика девиация частоты должна быть прямо пропорциональна амплитуде модулирующих колебаний.

Высота звука при частотной модуляции определяет частоту качаний высокой частоты передатчика: чем выше передаваемая звуковая частота, тем чаще качается частота передатчика около средней частоты. При частотной модуляции полоса пропускаемых передатчиком и приемником высоких частот не имеет той прямой зависимости от диапазона передаваемых звуковых частот, которая существует при амплитудной модуляции.

Ширина полосы пропускания зависит от наибольшей девиации частоты, которая в передатчиках и приемниках разного назначения берется различной. Различают широкополосную частотную модуляцию и узкополосную. В радиовещательных устройствах применяется широкополосная система модуляции с наибольшей девиацией частоты при передаче самых громких звуков в ±75 *кгц*. В специальных радиостанциях применяется узкополосная система модуляции с наибольшей девиацией частоты от ±2 до ±15 *кгц*.

В чем различие этих систем?

Основным достоинством частотной модуляции является ослабление действия помех. Широкополосная система дает наиболее высокое качество приема при сильных сигналах и относительно слабых помехах. В тяжелых условиях приема, когда принимаемые сигналы слабы, а помехи сильны, широкополосная система не дает необходимого ослабления помех. Таким образом, широкополосную систему наиболее выгодно использовать при относительно легких условиях приема. Напротив, узкополосную модуляцию наиболее выгодно использовать при тяжелых условиях приема, когда принимаемые



Фиг. 1. Колебания при амплитудной и частотной модуляции.

сигналы слабы, а помехи сильны. В этих условиях узкополосная система сильнее ослабляет действие помех, чем широкополосная, зато узкополосная система хуже работает при более благоприятных условиях приема, когда она меньше ослабляет помехи, чем широкополосная система. По этим причинам в радиовещании, где осуществляется прием сильных сигналов мощных передатчиков, применяют широкополосную модуляцию, а в маломощных любительских или служебных связных радиостанциях используется узкополосная модуляция.

Кроме того, при широкополосной модуляции предъявляются более низкие требования к стабильности гетеродина приемника и к точности настройки контуров, что облегчает выполнение и налаживание приемника. При узкополосной модуляции уход частоты гетеродина значительно больше сказывается на качестве приема, чем при широкополосной, поэтому приемник узкополосной системы должен иметь дополнительное устройство для поддержания постоянства частоты гетеродина или дополнительную ручку для подстройки гетеродина в процессе работы. То обстоятельство, что при широкополосной системе каждая радиовещательная станция занимает «много места» (на одну вещательную станцию с частотной модуляцией отводится канал шириной 200 *кгц*), пока еще не является страшным. Передачи с частотной модуляцией ведутся на ультракоротких волнах, а на этих волнах число станций, работающих без взаимных помех, может быть значительно больше, чем в диапазоне коротких и средних волн. Учитывая, кроме того, что действие УКВ радиостанций ограничено радиусом в несколько десятков километров, можно считать, что общее число УКВ станций, работающих без помех друг другу, может быть очень большим, даже если каждая из них занимает широкую полосу частот.

Какие же преимущества дает применение частотной модуляции?

Во-первых, и это главное, применение частотной модуляции позволяет почти полностью избавиться от действия помех при приеме. Мощность шумов на выходе приемника частотной модуляции получается в сотни раз меньше мощности шумов на выходе приемника амплитудной модуляции. Благодаря этому стало возможным передавать широкий диапазон звуковых частот и осуществлять подлинно художественное радиовещание.

Во-вторых, телефонные передатчики с амплитудной модуляцией почти все время работают с мощностью, значительно

меньшей, чем предельная мощность передатчика, так как амплитуда колебаний высокой частоты во время модуляции меньше максимальной амплитуды. При частотной модуляции передатчик может работать все время с максимальной мощностью, так как амплитуда его колебаний постоянна. Это позволяет при одних и тех же лампах и источниках питания передатчиков получать при частотной модуляции бо́льшую дальность связи, чем при применении амплитудной модуляции. При одинаковых расстояниях связи необходимая мощность передатчика с частотной модуляцией может быть значительно меньше, чем мощность передатчика с амплитудной модуляцией. Поскольку передача широковещания с частотной модуляцией ведется на ультракоротких волнах, к преимуществам, создаваемым частотной модуляцией, добавляются преимущества связи на УКВ: малое влияние атмосферных помех и атмосферных условий на прием, отсутствие замираний приема, возможность работы большого числа станций без взаимных помех, возможность выполнения эффективных антенных устройств, простота и малые размеры деталей аппаратуры.

То, что считается обычно недостатком ультракоротких волн — ограниченный радиус действия радиостанций, в действительности во многих случаях является преимуществом. Благодаря ограниченному радиусу действия местное вещание на ультракоротких волнах возможно без помех со стороны других станций даже при сравнительно небольшой мощности передатчика. Ограниченный радиус действия радиостанций в некоторых случаях является желательным также для служебной и оперативной связи.

Дальность связи и радиовещания на УКВ может быть повышена во много раз применением ретрансляционных станций. При этой системе передачи на УКВ могут вестись на многие сотни километров.

Частотная модуляция нашла применение не только для радиовещательной передачи звуковых программ и звукового сопровождения телевидения, но и для служебной связи на ультракоротких волнах. В диапазоне коротких волн применение частотной модуляции для целей связи также возможно, но радиовещательную передачу с частотной модуляцией на коротких волнах вести затруднительно. Этому мешает то, что замирания приема на коротких волнах для разных частот оказываются различными, а это приводит к сильным искажениям при приеме частотной модуляции. В ряде служебных устройств, в телеграфе, буквопечатающих аппаратах, в передаче неподвижных изображений и т. п. частотная модуляция

также находит применение. В этой области, как и в целом ряде других вопросов теории и применения частотной модуляции, большая работа проделана специалистами СССР.

ОСОБЕННОСТИ УЛЬТРАКОРОТКИХ ВОЛН

Основное применение частотная модуляция нашла при передаче на ультракоротких волнах.

Ультракороткие волны обладают целым рядом особенностей и преимуществ для радиосвязи.

В чем же заключаются эти особенности и преимущества?

Длинные и средние волны обладают способностью огибать поверхность земного шара, и поэтому связь на этих волнах может вестись на многие сотни и тысячи километров. Но это возможно только в том случае, если мощность передатчика очень велика. На длинных волнах помехи, возникающие за тысячи километров, приходят в место приема и делают иногда прием невозможным. Слышимость на этих волнах зависит от времени года и времени суток.

Короткие волны обладают меньшей способностью огибать земную поверхность, но зато эти волны отражаются от верхних проводящих слоев атмосферы и возвращаются на землю на большом расстоянии от места передачи. На коротких волнах возможна большая дальность связи, даже при очень малых мощностях передатчиков. Но связь на коротких волнах неустойчива. На этих волнах сильно сказываются замирания приема (фединги), кроме того, на некоторых расстояниях от передатчика слышимость исчезает, на более далеких расстояниях слышимость появляется вновь. Прием на коротких волнах сильно зависит от времени года и суток. Помехи при приеме на этих волнах тоже заметно мешают приему, хотя и слабее, чем на длинных и средних волнах.

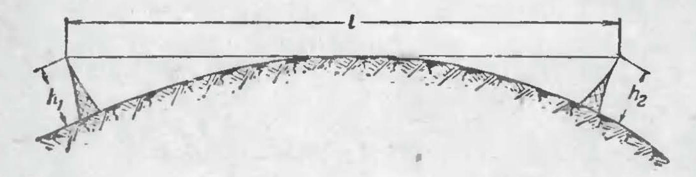
Ультракороткие волны слабо огибают земную поверхность и не отражаются от верхних слоев атмосферы, они как бы пробивают эти слои и уходят за пределы земли. Дальность распространения ультракоротких волн лишь немного превышает пределы прямой видимости. Из чисто геометрических соображений, учитывая величину радиуса земного шара, предельную дальность связи на УКВ определяют по формуле:

$$l = 3{,}55\ (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}),$$

где l — дальность связи в километрах;
h_1 и h_2 — высоты подъема антенн передатчика и приемника в метрах (фиг. 2).

За пределами этой дальности слышимость быстро убывает.

Из приведенной формулы следует, что для получения дальней связи на УКВ антенны передатчика и приемника нужно поднимать возможно выше. При подъеме радиостанций на несколько километров над землей на самолетах удавалось вести связи на несколько сотен километров. Но даже если расстояние приемника от передатчика значительно меньше предельного, выгодно поднимать антенны как можно выше. Советским ученым академиком Б. А. Введенским была найдена формула, из которой следует, что напряженность поля в



Фиг. 2. Предельная дальность связи на УКВ.

точке приема прямо пропорциональна высотам подъема над поверхностью земли передающей и приемной антенн.

Не отражаясь от верхних слоев атмосферы, ультракороткие волны хорошо отражаются от поверхности земли, и от различных предметов на земле. При этом отраженные волны, складываясь с прямыми волнами, иногда усиливают, а иногда и ослабляют прием. Этим объясняется то обстоятельство, что иногда сила приема резко изменяется при перемещении приемной антенны всего на несколько метров. Особенно эти изменения силы приема наблюдаются в городах, где отражения ультракоротких волн от домов и других сооружений создают резко меняющиеся условия приема в различных точках. Практически, чтобы получить наилучшие результаты, нужно попробовать установить антенну в различных местах и отыскать лучшую точку приема.

Ультракороткие волны сильно поглощаются различными предметами на земле. Деревья, дома, в особенности железобетонные, различные строительные сооружения — все это в сильной степени поглощает ультракороткие волны. Чтобы уменьшить потери на поглощение опять-таки выгодно помещать антенну как можно выше.

Атмосферные помехи и состояние атмосферы на прием УКВ влияют мало. Ограниченный радиус действия приемников УКВ делает влияние атмосферных помех особенно незаметным. На УКВ сказываются помехи от автомашин, троллейбусов, электросварки и т. п., но применением частотной модуляции и эти помехи почти полностью уничтожаются.

Не мешают приему на УКВ и другие радиостанции. На ультракоротких волнах даже в одном районе может работать большое количество станций без взаимных помех. Если, например, каждой передающей радиостанции дать частоту, отличную от другой на 19 *кгц*, то в различных диапазонах могло бы работать, не мешая друг другу на волнах:

10 000 — 1 000 *м*	14 радиостанций
1 000 — 100 *м*	142 „
100 — 10 *м*	1 421 „
10 — 1 *м*	14 210 „

Для вещательной радиостанции с частотной модуляцией отводятся полосы шириной не в 19 *кгц*, а в 200 *кгц*, но и при этом, если бы даже весь диапазон от 10 до 1 *м* занимали только передатчики частотной модуляции с широкой полосой, то в этом диапазоне могло бы работать

$$\frac{f_{макс} - f_{мин}}{200 \cdot 10^3} = \frac{3 \cdot 10^8 - 3 \cdot 10^7}{200 \cdot 10^3} = 1\,350 \text{ передатчиков.}$$

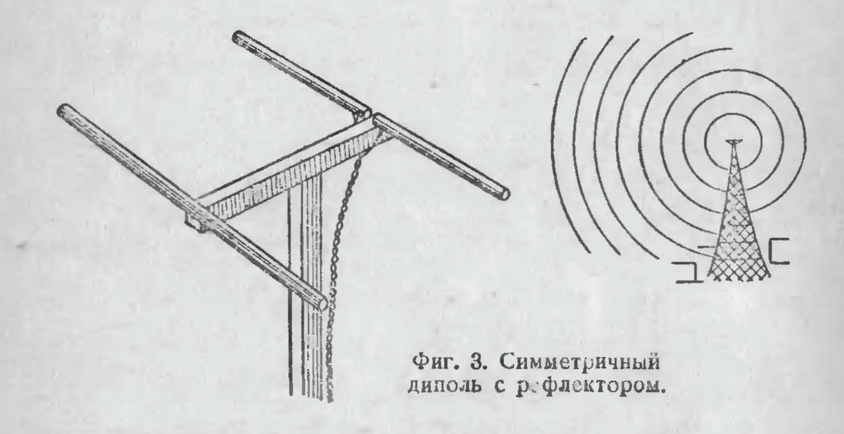
Поскольку радиус действия передатчиков УКВ ограничен десятками километров, практически можно по всему Советскому Союзу установить огромное число передатчиков УКВ и они не будут создавать взаимных помех при приеме.

На коротких, и в особенности средних и длинных волнах выполнение эффективных антенн сложно, так как эти антенны должны быть больших размеров. Особенно сложно на коротких, средних и длинных волнах создание антенн направленного действия.

На ультракоротких волнах возможно выполнить простые антенны небольшого размера и обладающие высоким к. п. д. Сравнительно несложно создать и антенны направленного действия. Правда, к антенным устройствам на УКВ предъявляется ряд особенных требований, например провод, соединяющий приемник или передатчик с антенной, должен быть по возможности коротким и проходить в некотором отдалении от стен. Провод этот должен быть по возможности без изгибов, а те изгибы, которые необходимы, должны быть выполнены с большим радиусом кривизны.

Для передачи и приема УКВ наиболее эффективны горизонтальные антенны. Они дают при приеме большую величину полезного сигнала, а помехи при этом сказываются меньше.

Хорошие результаты дает горизонтальный симметричный полуволновой диполь (фиг. 3). Его можно выполнить из толстых медных проводов, а еще лучше — из медной или алюминиевой трубки диаметром около 20 *мм*. Каждый луч



Фиг. 3. Симметричный диполь с рефлектором.

должен быть длиной в четверть волны. Изолированные провода, идущие от лучей, скручиваются между собой и подводятся к приемнику.

Эта антенна обладает направленным действием. Поднятая высоко над землей, антенна должна быть расположена таким образом, чтобы направление лучей было перпендикулярно к направлению на передатчик.

Направленное действие антенн позволяет повысить дальность и силу приема и снизить влияние помех. Значительно бо́льшую направленность можно достигнуть, применяя отражатель-рефлектор. Расположив за диполем на расстоянии четверти длины волны рефлектор — провод или металлическую трубку той же длины, что и диполь, мы получим усиление приема со стороны диполя и ослабление его со стороны рефлектора. Рефлектор является как бы зеркалом для радиоволн и поэтому сигнал, приходящий со стороны диполя, отразившись от рефлектора, попадает на диполь и усиливает прием. Существуют более сложные антенны, дающие еще более резко направленный прием. Эти антенны позволяют получить большую дальность связи, более громкий и чистый прием.

Влияние помех при приеме частотной модуляции

Как уже было сказано, основным преимуществом частотной модуляции по сравнению с амплитудной модуляцией является возможность значительно снизить влияние помех радиоприему. Эта возможность впервые была исследована советским ученым профессором В. И. Сифоровым. Рассмотрим вопрос о влиянии помех на прием частотной модуляции.

Передача и прием речи и музыки по методу частотной модуляции ведутся на ультракоротких волнах. На этих волнах атмосферные помехи почти не сказываются. Не сказываются на этих волнах и замирания приема, так что когда речь идет о помехах при приеме частотной модуляции, в основном приходится считаться с помехами индустриального происхождения: с помехами от электроустановок, от электрического транспорта, от систем электрозажигания в автомашинах, от бытовых приборов — звонков, моторчиков швейных машин и т. п., а также с шумами, возникающими в самом приемнике из-за наличия шумовых токов в сопротивлениях, контурах и в лампах, — с так называемыми внутриприемными шумами.

Складываясь с высокочастотными колебаниями полезного сигнала, помехи создают изменение амплитуды и изменение частоты приходящего высокочастотного сигнала.

Если приемник воспринимает только амплитудную модуляцию, то частотные изменения сигнала помехой не сказываются вредно на приеме, но амплитудные изменения сигнала, созданные помехой, обуславливают шум на выходе приемника. Эти изменения амплитуды получаются часто гораздо более сильными, чем полезные изменения амплитуды, создаваемые передатчиком при амплитудной модуляции. Поэтому шум на выходе приемника амплитудной модуляции оказывается очень громким по сравнению с полезными принимаемыми звуками.

До настоящего времени не создано способов, позволяющих достаточно надежно в самом приемнике амплитудной модуляции избавиться от этих помех. Всевозможные системы амплитудных ограничителей и подавителей помех далеко не полностью устраняют шумы и, кроме того, приводят к искажению самого полезного сигнала.

Амплитудный ограничитель «ограничивает» принимаемые колебания по амплитуде, он как бы срезает те изменения амплитуды сигнала, которые создаются помехой. Однако, при этом происходит также срезание тех полезных изменений

амплитуды колебаний, которые обусловлены амплитудной модуляцией, что приводит к сильным искажениям приема. Если же уровень ограничения сделать таким, чтобы полезная амплитудная модуляция не искажалась или искажалась слабо, то ограничение помех не даст заметных результатов.

Приемники частотной модуляции не воспринимают вредных воздействий помех на амплитуду сигнала. Это достигается тем, что в специальном каскаде приемника — в ограничителе — высокочастотные колебания сигнала ограничиваются по амплитуде, так что все вредные изменения амплитуды их срезаются и на детектор частотной модуляции поступают колебания с неизменной амплитудой.

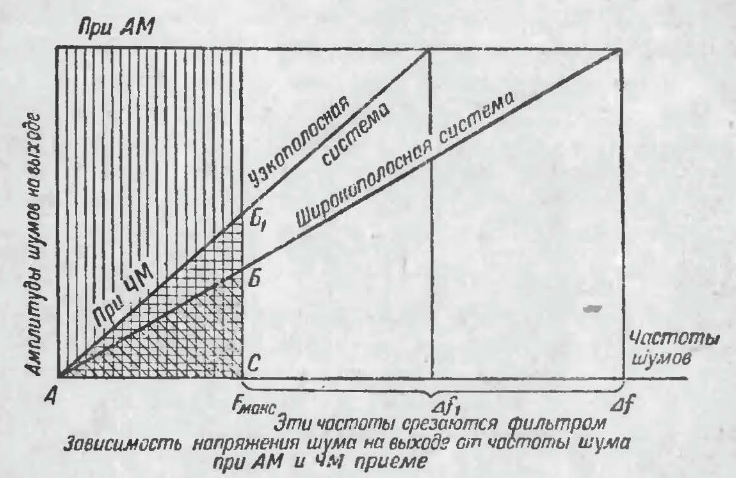
Поскольку ограничение амплитуды не вызывает искажений частотной модуляции, глубина ограничения при этом может быть сделана любой. Даже если амплитуда колебаний уменьшается в несколько раз, то и тогда никаких искажений передачи не возникает. Таким образом, паразитная амплитудная модуляция сигнала, вызываемая действием помехи, может быть устранена при приеме частотной модуляции почти полностью. Поэтому влияние помех при приеме частотной модуляции создается только теми изменениями частоты сигнала, которые возникают при воздействии помехи. Эти изменения частоты сигнала, создаваемые помехой, будут восприниматься приемником частотной модуляции в виде шумов и тресков. Однако, шумы эти могут быть сделаны гораздо менее заметными, чем шумы, возникающие на выходе приемника амплитудной модуляции.

Дело в том, что частотная модуляция принимаемых колебаний, создаваемая помехой, сказывается гораздо более слабой, чем полезная частотная модуляция, создаваемая у этих колебаний передатчиком. Поэтому громкость шумов на выходе приемника частотной модуляции оказывается гораздо слабее громкости полезных передаваемых звуков.

Кроме того, особенность частотной модуляции принимаемых колебаний помехой состоит в том, что интенсивность этой модуляции оказывается прямо пропорциональной частоте слышимого на выходе приемника шума. В результате этого громкость шума на выходе приемника возрастает с его частотой, так что низшие частоты шума, наиболее хорошо воспринимаемые человеческим слухом, оказываются самыми слабыми.

В приемниках амплитудной модуляции такой зависимости нет и там все слышимые шумы имеют одинаковую интенсивность, независимо от их частоты.

На графике фиг. 4 спектр шумов на выходе приемника амплитудной модуляции имеет вид заштрихованного прямоугольника, так как шумы имеют одинаковые амплитуды в области всех звуковых частот. Спектр шумов при частотной модуляции имеет вид треугольника, бо́льшая часть площади которого лежит в области более высоких частот, чем частоты, требующиеся для воспроизведения речи и музыки. Эти частоты отфильтровываются специальным фильтром или не воспринимаются нашим ухом. Из графика видно, что шумы на выходе



Фиг. 4. Зависимость напряжения шума на выходе от частоты шума при АМ и ЧМ приеме.

приемника частотной модуляции получаются слабее при широкополосной модуляции, так как площадь треугольника *АБС* меньше, чем площадь треугольника *АБ*$_1$*С*. Таким образом, увеличение девиации снижает помехи, хотя оно и требует расширения полосы пропускания приемника.

Еще большего ослабления помех можно достигнуть, подчеркивая в передатчике высокие звуковые частоты и соответственно ослабляя их в приемнике. При правильном использовании этого способа частотные искажения не возникают, а выигрыш в борьбе с помехой получается очень значительным, так как подавление высоких частот в приемнике дает особенно большое ослабление помех (фиг. 5).

Все сказанное о треугольном спектре шумов на выходе приемника частотной модуляции справедливо только в том случае, если амплитуда высокочастотного сигнала не меньше

чем в 2 раза превышает величину помехи. Только в этом случае получается огромный выигрыш в борьбе с помехой при широкополосной частотной модуляции по сравнению с модуляцией амплитудной. Если же помеха велика и превышает амплитуду высокочастотного сигнала, то форма спектра шумов на выходе приемника отходит от треугольной формы и широкая полоса пропускания приемника в отношении борьбы с помехами становится только вредной. Отсюда следует вывод: когда мощность передатчика велика и сигнал может значи-



Фиг. 5. Ослабление мощности помех на выходе АМ и ЧМ приемников при ослаблении верхних частот.

тельно превысить уровень помех, целесообразно применять широкополосную систему частотной модуляции, которая при этом дает очень сильное ослабление помехи, но когда уровень помех сравнительно высок, а большая мощность передатчика не может быть применена, целесообразнее использовать узкополосную систему частотной модуляции, которая дает меньшее ослабление помех, но сохраняет его при более тяжелых условиях приема. В каждом случае существуют наивыгоднейшие значения максимальной девиации частоты, они зависят от отношения уровня полезного сигнала и уровня помехи в данной точке приема.

Заметный выигрыш в ослаблении влияния помех дает также применение двухтактного частотного детектора-дискриминатора, в котором помехи различных частот частично взаимно компенсируются.

Преимущество частотной модуляции перед амплитудной в смысле ослабления помех особенно заметно при их сравнении на-слух, так как спектр звуковых частот шумов при частотной

модуляции на средних звуковых частотах, где чувствительность уха наибольшая, имеет меньшую величину, чем при амплитудной модуляции, и поэтому даже при одинаковом эффективном напряжении помех на выходе приемников шумы в приемнике частотной модуляции заметно меньше.

Поскольку амплитуда колебаний, излучаемых передатчиками частотной модуляции, постоянна, при одинаковой номинальной мощности ламп передатчик частотной модуляции может излучать в 4 раза более высокую мощность, чем передатчик амплитудной модуляции, рассчитанный на максимальный коэффициент модуляции в 100%.

Все это приводит к тому, что в отношении борьбы с помехами система частотной модуляции дает огромный выигрыш. Если уровень помех не очень велик по сравнению с сигналом, то частотная модуляция позволяет уменьшить влияние помехи на столько же, насколько это удалось бы сделать при повышении мощности передатчика с амплитудной модуляцией в 100—1 000 раз.

ПЕРЕДАТЧИКИ С ЧАСТОТНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ

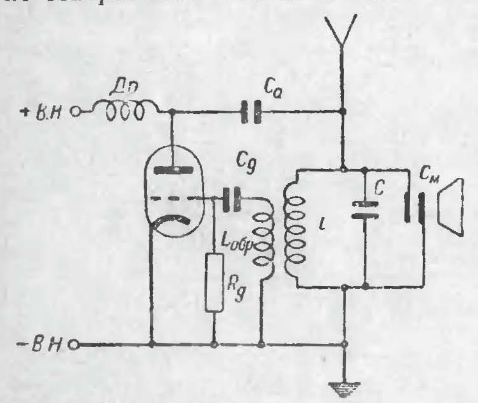
Как осуществить передачу с частотной модуляцией?

Для этого необходимо частоту, излучаемую передатчиком, изменять в соответствии с изменениями модулирующих, т. е. звуковых, колебаний. Чем больше амплитуда звуковых колебаний, тем более сильными должны быть качания частоты передатчика около некоторой средней частоты, а чем выше звуковая частота, тем более частыми должны быть эти качания частоты передатчика. При отсутствии звуков перед микрофоном передатчик должен излучать неизменную частоту, которая равняется средней частоте передатчика при модуляции и может быть названа частотой молчания. Простейший передатчик с частотной модуляцией устроен по следующей схеме (фиг. 6). Параллельно контуру генератора с самовозбуждением включен специальный конденсаторный микрофон. Этот микрофон представляет собой конденсатор, состоящий из двух пластин, одна из которых может колебаться под действием звуковых волн, изменяя величину емкости конденсаторного микрофона. При таком включении емкость конденсаторного микрофона $C_м$ влияет на частоту создаваемых генератором колебаний. Если на микрофон воздействует звуковая волна и колеблет его подвижную пластину, то емкость между пластинами меняется, а следовательно, изменяется и резонансная частота контура: при увеличении звукового давления пластины

микрофона сближаются, емкость его увеличивается и частота генерируемых колебаний уменьшается. При уменьшении звукового давления пластины микрофона отдаляются друг от друга, при этом уменьшается емкость микрофона и частота генерируемых колебаний увеличивается.

Таким образом звуковые колебания, действующие на микрофон, изменяют частоту генератора с самовозбуждением.

Описанный способ частотной модуляции прост, но он очень не совершенен. Основной недостаток этой схемы состоит в невозможности получить стабильную частоту молчания. Передвижения микрофона могут привести к изменению емкости между проводами, соединяющими микрофон с генератором, а это приведет к изменению частоты молчания. Автоматически стабилизировать частоту молчания в такой схеме передатчика с частотной модуляцией затруднительно. Из-за этих недостатков такая простейшая схема передатчика с частотной модуляцией практически не применяется. Существуют другие очень остроумные и совершенные схемы передатчиков с частотной модуляцией.



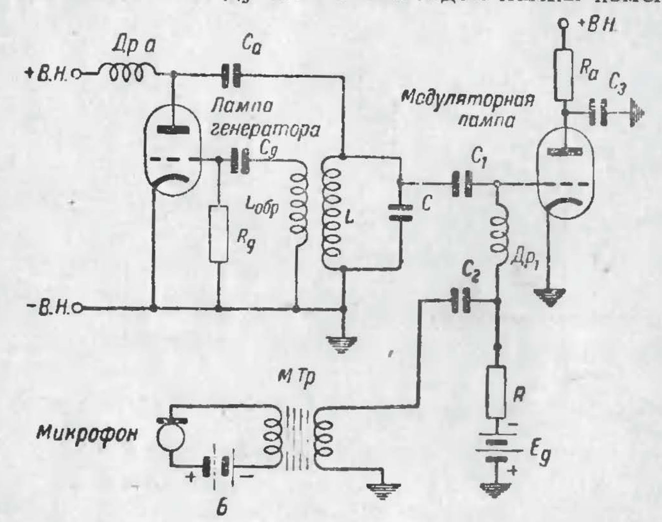
Фиг. 6. Схема передатчика с частотной модуляцией конденсаторным микрофоном.

Советский ученый Шитиков разработал схему, в которой частота генератора изменяется благодаря изменениям входной динамической емкости модуляторной лампы, подключенной к контуру генератора. Эта схема дает хорошие результаты даже при работе в области очень высоких частот.

Входной динамической емкостью называется емкость между катодом и сеткой лампы во время ее работы в схеме. Эта емкость меняется в зависимости от величины подведенных к электродам лампы напряжений. Изменение входной динамической емкости объясняется тем, что плотность и размеры электронного облачка, образующего пространственный заряд вокруг катода, изменяются при изменениях напряжений на электродах лампы; при увеличении отрицательного напряжения смещения на управляющей сетке лампы электроны от нее

отталкиваются и граница пространственного заряда перемещается к катоду; при уменьшении отрицательного напряжения смещения на сетке граница пространственного заряда удаляется от катода и приближается к сетке.

Расширение границ пространственного заряда можно рассматривать, как увеличение диаметра катода и приближение катода к сетке. Поэтому с изменением напряжения сеточного смещения емкость между сеткой и катодом лампы изменяется.

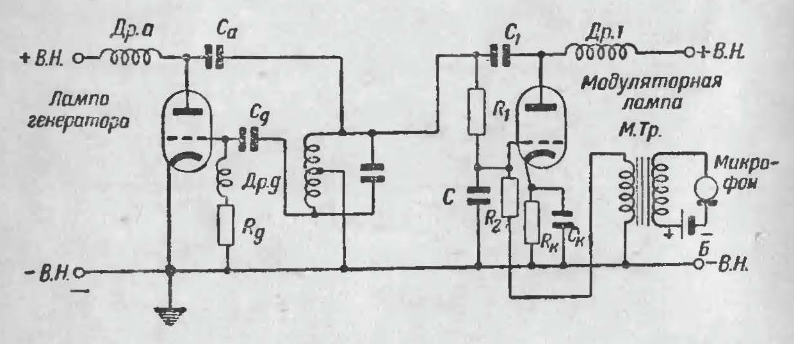


Фиг. 7. Схема модуляции по частоте изменением емкости сетка—катод модуляторной лампы.

Наименьшей эта емкость будет тогда, когда увеличение отрицательного напряжения смещения прекратит анодный ток, т. е. когда лампа окажется запертой. В этом случае входная динамическая емкость равна статической входной емкости лампы. При уменьшении отрицательного напряжения смещения входная динамическая емкость увеличивается

Подключим сетку и катод модуляторной лампы к контуру генератора с самовозбуждением, как это показано на схеме фиг. 7. Тогда динамическая емкость между сеткой и катодом модуляторной лампы будет входить в контур генератора и от величины этой емкости будет зависеть частота генерируемых колебаний. Поставив модуляторную лампу в соответствующий режим, т. е. подав на сетки и анод определенные напряжения, подведем к ее управляющей сетке, кроме того, переменное

напряжение звуковой частоты от микрофонного трансформатора, в первичную цепь которого включен угольный микрофон. Звуковые колебания, воспринимаемые микрофоном, будут при этом изменять напряжение смещения на сетке лампы, а следовательно, и величину входной динамической емкости лампы. Изменение же этой емкости приведет к изменению частоты генератора. Таким образом, мы получаем частотную модуляцию. В схеме, изображенной на фиг. 7, дроссель $Др_1$ предохраняет контур генератора от замыкания микрофонным



Фиг. 8. Схема модуляции по частоте с „реактивной лампой".

трансформатором. Конденсатор малой емкости C_1 препятствует замыканию напряжения сеточного смещения модуляторной лампы через индуктивность контура L. Батарея E_g служит для подачи на сетку модуляторной лампы постоянного напряжения смещения. Сопротивление R предохраняет от замыкания этой батареей трансформатора. Сопротивления R_a и емкость C_3 увеличивают входную динамическую емкость лампы. Конденсатор большой емкости C_2 служит для предотвращения замыкания напряжения смещения трансформатором.

Существуют и другие схемы для получения частотной модуляции. В некоторых радиостанциях применяется, например, так называемая схема с реактивной лампой, изображенная на фиг. 8. В этой схеме к части контура задающего генератора подключены анод и катод модуляторной лампы. Управляющая сетка этой лампы также подключена к контуру через сопротивление R_1 и емкость C. При таком включении лампы, благодаря фазовому сдвигу напряжений на сетке и аноде и совпадению по фазе анодного тока и напряжения на сетке, лампа представляет собой как бы реактивное сопротивление, т. е. аналогична индуктивности, подключенной параллельно к контуру. Изменение напряжения смещения на сетке модуляторной

лампы приводит к изменению крутизны характеристики лампы, а это, в свою очередь, вызывает изменение величины реактивности. Подведя к сетке модуляторной лампы переменное напряжение звуковой частоты от микрофона, мы, как и в предыдущей схеме, получим изменение частоты генератора в зависимости от подводимых к модуляторной лампе звуковых колебаний. В изображенной на фиг. 8 схеме конденсатор большой емкости C_1 защищает сетку модуляторной лампы от попадания высокого анодного напряжения, $Др_1$ препятствует замыканию контура на источник высокого напряжения, а сопротивление R_2 защищает высокочастотное напряжение на сетке модуляторной лампы от замыкания микрофонным трансформатором; R_k и C_k служат для создания постоянного напряжения сеточного смещения.

В некоторых схемах передатчиков с частотной модуляцией применяется удвоение частоты. Принципы схемы удвоения такие же, как и в коротковолновой аппаратуре. Задающий генератор работает на определенной частоте, а в усилителе подбирается такой режим, при котором колебания анодного тока имеют сильную вторую гармонику. Контур в анодной цепи усилителя настраивается на частоту этой второй гармоники. Эта частота, вдвое большая по сравнению с частотой задающего генератора, поступает в антенну. Система эта выгодна тем, что при ней получается удвоение девиации частоты по сравнению с девиацией частоты задающего генератора. Кроме того, генерировать более низкую частоту легче, чем более высокую; при использовании удвоений для получения очень высоких частот в антенне можно применять в генераторе лампы обычных типов.

Недостатком простейших схем частотной модуляции является возможность медленных изменений — «ухода» — средней частоты из-за нестабильности питания, нагрева деталей и по другим причинам. Мы знаем, что входная динамическая емкость модуляторной лампы, которая входит в контур генератора, зависит от напряжений на электродах этой лампы; следовательно, если напряжение источников питания будет меняться, то частота генератора будет также изменяться. Такой «уход» средней частоты передатчика очень неблагоприятно скажется на приеме. Обычно приемник настраивается на одну или несколько фиксированных волн и перестройка его в момент приема невозможна. Это еще больше повышает требования к постоянству средней частоты передатчика.

Как же стабилизировать среднюю частоту передатчика?

Казалось бы, проще всего это сделать с помощью кварца.

включенного в задающий генератор передатчика, как это делается в схемах передатчиков с амплитудной модуляцией. Однако, при таком включении частота задающего генератора настолько сильно стабилизируется кварцем, что осуществлять частотную модуляцию в задающем генераторе делается невозможным. При использовании кварцевой стабилизации частотную модуляцию приходится осуществлять не в задающем генераторе, а в специальных последующих каскадах, что очень сильно усложняет схему передатчика.

Конструкторы нашли другие решения задачи стабилизации средней частоты. Одним из возможных решений является применение для модуляции двухтактных схем модуляторов. В двухтактных схемах используются одновременно две модуляторные лампы. Изменение напряжений питания двух модуляторных ламп при соответствующем включении их приводит к противоположным результатам в отношении влияния на частоту задающего генератора. Благодаря этому можно так составить и отрегулировать схему двухтактного модулятора, что изменение напряжения источников питания не будет сказываться на средней частоте генератора, так как изменение режима одной лампы двухтактной схемы модулятора будет приводить к уменьшению средней частоты колебаний, тогда как такое же изменение режима другой будет приводить к увеличению средней частоты на такую же величину, в общем же изменения частоты при этом не произойдет. Напряжение звуковой частоты в таких схемах подводится к сеткам ламп модулятора в противофазе, благодаря чему лампы действуют согласно и дают более глубокую частотную модуляцию. Большую стабильность средней частоты можно получить, используя схемы автоподстройки частоты. В этих схемах для стабилизации средней частоты задающего генератора иногда может косвенно использоваться кварц.

Часть напряжения высокой частоты подается с выхода передатчика на вход схемы автоподстройки, состоящей из преобразователя частоты, кварцевого гетеродина, усилителя промежуточной частоты и частотного детектора — дискриминатора. Дальше, рассматривая схемы приемников частотной модуляции, мы увидим, что на выходе дискриминатора при отклонении подводимой к нему частоты от средней частоты возникает некоторое напряжение. Знак этого напряжения зависит от того, в какую сторону отклонилась частота от средней частоты, а величина напряжения зависит от величины этого отклонения.

Если напряжение с выхода дискриминатора подать на

управляющий электрод модуляторной лампы, то частота задающего генератора будет зависеть от напряжения на выходе дискриминатора. Всякое медленное изменение частоты генератора, вызванное изменением напряжений источников питания или другими причинами, изменит величину промежуточной частоты. Изменение величины промежуточной частоты создает напряжение на выходе дискриминатора. Это напряжение, воздействуя на управляющий электрод модуляторной лампы, в свою очередь вызовет изменение частоты генератора, но в обратную сторону по сравнению с самопроизвольным уходом частоты. Таким образом все устройство возвращает частоту генератора, в случае ее ухода, к первоначальному значению.

Для того, чтобы это устройство не препятствовало модуляции и реагировало лишь на сравнительно медленные отклонения частоты, вызываемые нестабильностью передатчика, в цепь авторегулировки ставится фильтр из емкости C и сопротивления R, имеющий большую постоянную времени, который пропускает к модуляторной лампе лишь медленно меняющиеся напряжения. Благодаря этому фильтру авторегулировка не успевает следить за быстрыми изменениями частоты при модуляции и не оказывает вредного демодулирующего действия. Использование в этой схеме преобразования частоты улучшает ее работу, так как уход промежуточной частоты имеет большую процентную величину, чем уход частоты передатчика. Кварцевая стабилизация гетеродина устраняет влияние нестабильности гетеродина на величину промежуточной частоты.

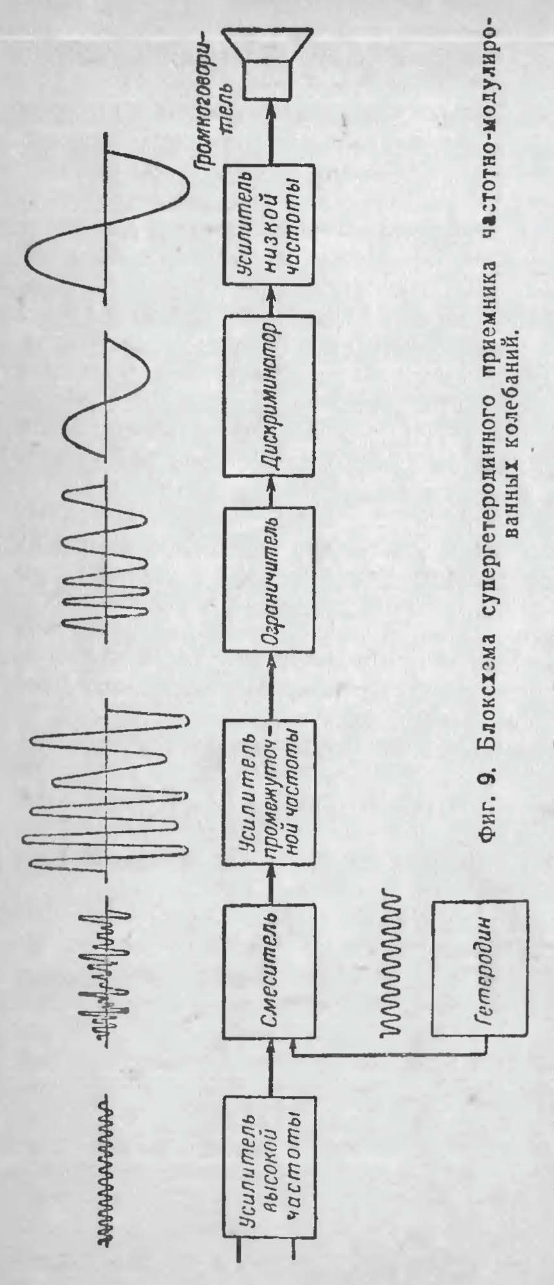
ПРИЕМ ЧАСТОТНО-МОДУЛИРОВАННЫХ КОЛЕБАНИЙ

Теперь мы знаем, как осуществляется передача колебаний, модулированных по частоте.

Как же производится их прием?

Для того, чтобы реализовать все преимущества частотной модуляции, приемник для приема частотно-модулированных колебаний должен быть несколько сложнее и более тщательно налажен по сравнению со средним приемником передач с амплитудной модуляцией. Однако, некоторые трудности в выполнении приемника частотной модуляции окупаются тем высокохудожественным приемом без помех, который он дает.

Трудности в настройке приемника частотной модуляции связаны с теми требованиями, которые предъявляются к нему. Передачи с частотной модуляцией ведутся на УКВ. Поэтому приемник должен работать в диапазоне ультракоротких волн. Далее, приемник должен пропускать широкую полосу высо-



Фиг. 9. Блоксхема супергетеродинного приемника частотно-модулированных колебаний.

ких частот. Для наилучшего избавления от помех приемник частотной модуляции должен включать в свою схему ограничитель — устройство, осуществляющее подавление помех. Кроме того, приемник должен иметь специальный детектор частотно-модулированных колебаний, называемый дискриминатором. Наконец, усилитель низкой частоты приемника частотной модуляции, так же как и громкоговоритель, должен пропускать широкую полосу звуковых частот, иначе преимущества частотной модуляции будут использованы неполностью.

При близком расположении приемника от передающей станции прием можно вести, не имея очень высокого усиления, используя схемы приемников прямого усиления. Однако, когда приемник находится на большом расстоянии от передатчика требуется большое усиление.

Малое усиление, даваемое каскадами усиления высокой частоты на ультракоротких волнах, заставляет применять для приема частотной модуляции преобразование принимаемой частоты в более низкую, т. е. применять супергетеродинные схемы. Типичная блоксхема приемника частотной модуляции изображена на фиг. 9.

В некоторых схемах приемников каскад усиления высокой частоты вообще не применяется. Схемы гетеродинов, преобразователей, усилителей промежуточной частоты приемников частотной модуляции мало отличаются от схем, применяемых в приемниках амплитудной модуляции. С целью улучшения избирательности по зеркальному каналу промежуточную частоту выбирают обычно порядка нескольких мегагерц (2—5 *мгц*). Стабильность частоты гетеродина должна быть высокой, иначе при уходе промежуточной частоты могут возникнуть нелинейные искажения.

В контуре гетеродина желательно применять детали с термокомпенсацией. В хорошем приемнике частотной модуляции желательно также применение автоматической подстройки частоты гетеродина.

Усилитель промежуточной частоты для приема частотной модуляции должен давать большое усиление, иметь высокую избирательность по соседним каналам и широкую полосу пропускания.

Необходимая для приема частотной модуляции ширина полосы пропускания должна равняться удвоенной девиации частоты или высшей передаваемой звуковой частоте, смотря по тому, которая из этих величин больше. Эта ширина полосы пропускания определяется на уровне двухкратного ослабления сигнала.

В приемниках частотной модуляции приходится применять лампы с высокими параметрами, для того, чтобы при небольшом числе ламп получать большое усиление. В каскадах усиления высокой и промежуточной частоты применяются чаще всего лампы 6АС7. Эти лампы имеют крутизну 9 *ма/в*. Коэффициент усиления входных цепей приемника обычно равняется 2—5. Коэффициент усиления каскадов высокой частоты в зависимости от типа ламп составляет 5—20. Коэффициент усиления, даваемый преобразователем частоты, бывает порядка 5. Каскад усиления промежуточной частоты может иметь коэффициент усиления порядка 70. Таким образом, при одном каскаде усиления высокой частоты и при двух каскадах усиления промежуточной частоты общий коэффициент усиления может быть около 2 000 000.

Пропускание широкой полосы частот достигается либо применением полосовых фильтров, либо, как это делается, например, в схеме приемника звукового сопровождения телевизора «Москвич Т-1», применением в усилителе промежуточной частоты одиночных взаиморасстроенных контуров. Последний способ несколько проще в выполнении и регулировке, однако избирательность приемника при этом получается ниже. Поскольку станций частотной модуляции пока еще немного, такое упрощение вполне допустимо. Часто для расширения полосы пропускания контуры шунтируют сопротивлениями величиной в несколько десятков тысяч ом. Недостаточная полоса пропускания, точно так же как и неправильная настройка контуров в усилителях промежуточной частоты, могут привести к большим нелинейным искажениям и тем самым свести на-нет преимущества, даваемые частотной модуляцией.

Таким образом, каскады усиления высокой частоты, преобразования частоты и усиления промежуточной частоты в приемнике частотной модуляции мало отличаются от аналогичных каскадов приемников амплитудно-модулированных колебаний.

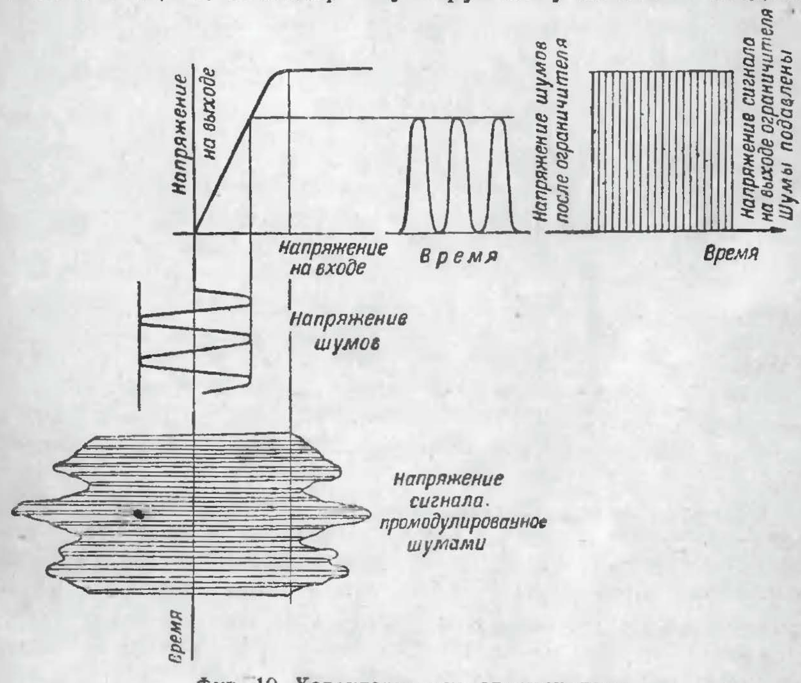
Схемы усилителей низкой частоты приемников частотной модуляции также не отличаются от схем усилителей низкой частоты приемников амплитудной модуляции, только требования к ним несколько повышаются.

Одним из характерных элементов схемы приемника частотной модуляции является наличие специального каскада—ограничителя амплитуды. Задачей ограничителя является уничтожение той амплитудной модуляции принимаемых колебаний, которая создается помехами, как приходящими извне, так и возникающими в самом приемнике. Типичная характеристика ограничителя изображена на фиг. 10.

В качестве ограничителя обычно применяется усилительный каскад, лампа которого ставится в такой режим, что она работает с насыщением, если подведенное к ее сетке напряжение превышает определенный уровень. При этом лампа перестает усиливать колебания выше определенной амплитуды.

Если на анод усилительной лампы подать низкое анодное напряжение, например порядка 10—30 *в*, то рабочий участок характеристики получается очень коротким и быстро наступает насыщение анодного тока. Если к сетке такой лампы подвести колебания с небольшой амплитудой, то усиление будет происходить нормально, но если амплитуда подаваемых колебаний превысит определенную величину, то лампа ограничителя начнет работать с отсечкой и амплитуда колебаний на выходе ее останется постоянной, как бы ни изменялась амплитуда подводимых колебаний выше этой пороговой величины.

Ограничение может достигаться и другим путем, например за счет использования сеточных токов. Если с увеличением амплитуды подводимого сигнала в схеме увеличиваются сеточные токи, то, благодаря шунтирующему действию входного



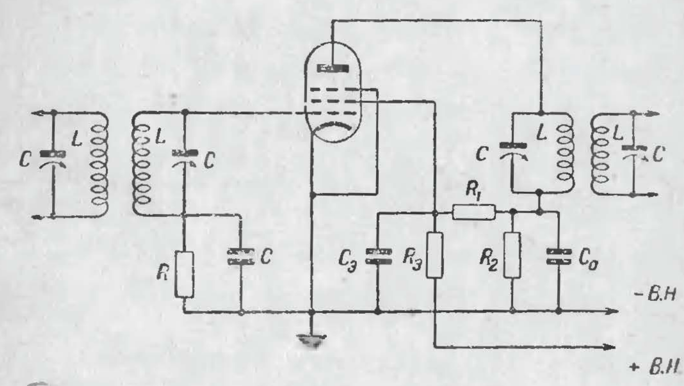
Фиг. 10. Характеристика ограничителя.

сопротивления лампы на контур, при больших амплитудах подводимых к лампе колебаний усиление будет падать. Это создает ограничительное действие. Усиливаться при этом будут лишь колебания с амплитудой, не превосходящей определенного предела, при котором появляются сеточные токи.

На фиг. 11 изображена одна из возможных схем ограничителя амплитуды. В этой схеме экранная сетка и анод лампы питаются через сопротивления $R_э$, R_1, R_2, которые подобраны таким образом, что режим лампы обеспечивает быстрое насыщение анодного тока лампы. Кроме того, при подаче на вход лампы переменного напряжения возникают се-

точные токи, которые, протекая по сопротивлению *R*, зашунтированному сопротивлением *C*, создают на нем отрицательное напряжение смещения. Это смещение уменьшает усиление каскада.

Подводимое к ограничителю напряжение, при котором колебания перестают усиливаться, называется порогом ограничения. Обычно этот порог имеет величину от четверти вольта до нескольких вольт. После достижения входным напряжением



Фиг. 11. Схема ограничителя.

порога ограничения напряжение на выходе ограничителя получается постоянным. В приемнике звукового сопровождения телевизора «Москвич Т-1» порог ограничения равен 1 *в*, а напряжение на выходе ограничителя составляет 0.55 *в*.

Когда передатчик не работает, шумы могут быть слышны, но лишь только передатчик включается, шумы исчезают, так как рабочая точка при этом перемещается с наклонного на горизонтальный участок характеристики ограничителя. Кроме избавления от шумов и помех ограничитель выполняет задачу, похожую на задачу автоматической регулировки чувствительности в обычном радиовещательном приемнике.

Если приемник частотной модуляции отнести на такое расстояние от передатчика, при котором практически передача почти не слышна, можно услышать сильное шипение от внутриприемных помех и на его фоне очень слабый звук передачи. Это означает, что ограничения по амплитуде не происходит. Вы приближаетесь к передатчику,— звук передачи делается сильнее. Приближаетесь еще ближе,— звук передачи усиливается, шумы исчезают. Это означает, что ограничитель на-

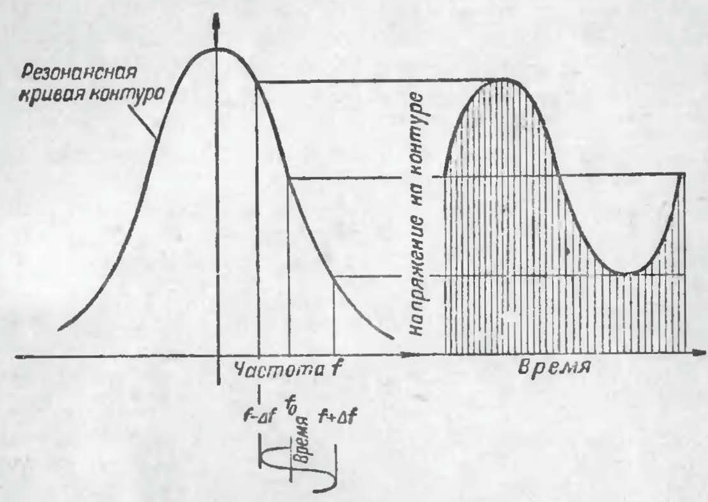
чал действовать. Как бы мы ни приближались затем к передатчику, громкость приема меняться не будет благодаря работе ограничителя. Иногда вместо ограничителя применяется система автоматической регулировки усиления. Особенность этих систем в приемниках частотной модуляции состоит в том, что постоянная времени фильтра системы берется очень малой. При этом система автоматической регулировки быстро изменяет усиление приемника, уничтожая тем самым изменения амплитуды принимаемого сигнала, вызываемые помехами. Некоторые типы частотных детекторов слабо воспринимают колебания амплитуды принимаемых сигналов. При использовании таких детекторов паразитная амплитудная модуляция сигнала помехой сказывается очень слабо. Это позволяет не ставить перед детекторами такого типа ограничителей амплитуды.

На выходе ограничителя мы получаем колебания, меняющиеся по частоте, но постоянные по амплитуде. Если эти колебания подвести к обычному детектору амплитудной модуляции, с включенным в его цепь телефоном, то никакого звука в телефоне мы не услышим, так как постоянные по амплитуде колебания после выпрямления детектором дадут в телефоне постоянный ток. Чтобы превратить частотно-модулированные колебания в звуковые, их превращают сначала в колебания, модулированные по амплитуде, а затем детектируют обычным детектором амплитудной модуляции. Для превращения частотной модуляции колебаний в амплитудную модуляцию используют резонансные свойства колебательных контуров (фиг. 12).

Известно, что усиление контуром подводимого напряжения зависит от того, насколько частота подведенного к контуру напряжения отличается от его резонансной частоты. При совпадении этих частот усиление получается максимальным. Такая зависимость изображается известной резонансной кривой контура. Расстроим в приемнике частотной модуляции контур, находящийся после ограничителя, по отношению к средней частоте, т. е. к той частоте, которая получается в каскадах усиления промежуточной частоты при приеме частоты «молчания». Расстроим его настолько, чтобы эта средняя частота усиливалась контуром вдвое слабее, чем резонансная частота. Тогда при модуляции частоты амплитуда высокочастотного напряжения на контуре будет изменяться в соответствии с колебаниями частоты. Частотно-модулированный сигнал окажется меняющимся по амплитуде в соответствии с отклонениями его частоты от средней. Подведя эти колебания

к обычному детектору амплитудной модуляции, мы сможем получить колебания звуковой частоты.

Этот способ превращения частотно-модулированных колебаний в колебания, изменяющиеся по амплитуде, сравнительно прост и дает хорошие результаты при модуляции с небольшой девиацией частоты. Он особенно применим в портативных приемниках частотной модуляции, например в приемниках для оперативной связи.

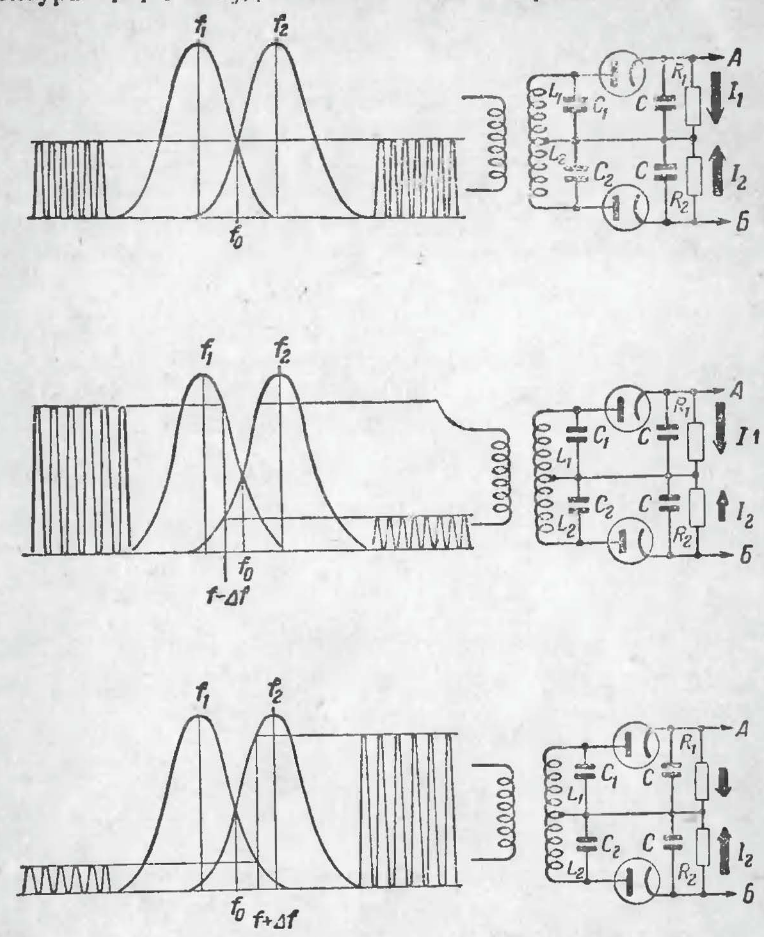


Фиг. 12. Преобразование частотно-модулированных колебаний в колебания амплитудно-модулированные посредством расстроенного контура.

Применяя схему сеточного детектирования с обратной связью, можно менять крутизну рабочего участка резонансной кривой и, таким образом, можно подобрать наивыгоднейшие условия для получения громкого и неискаженного сигнала. Частотный детектор такого типа может применяться в сверхрегенеративном приемнике.

Более совершенными в смысле получения неискаженного приема являются двухтактные схемы дискриминаторов. Рассмотрим две из них. В первой схеме (фиг. 13) два контура L_1C_1 и L_2C_2 настроены на крайние частоты рабочей полосы частот, например, контур L_1C_1 настроен на низшую границу f_1 полосы частот, пропускаемых усилителем промежуточной частоты, а контур L_2C_2 соответственно настроен на высшую границу f_2 полосы частот. В случае отсутствия модуляции

средняя частота, подводимая к контурам L_1C_1 и L_2C_2, будет в равной степени не совпадать с их собственной частотой. Для контура L_1C_1 она будет лежать выше его резонансной частоты



Фиг. 13. Схема работы двухтактного дискриминатора.

f_1, а для контура L_2C_2 средняя частота лежит ниже его резонансной частоты f_2. При правильной настройке контуров и одинаковой форме их резонансных кривых на контурах будут создаваться одинаковые напряжения. Напряжения, возникающие на каждом из контуров, выпрямляются диодными детекторами. Выпрямленные диодами токи прохо-

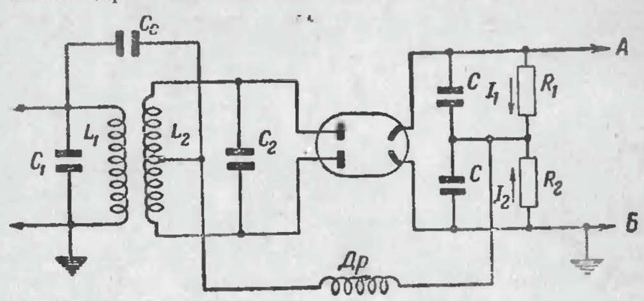
дят через сопротивления R_1 и R_2. Величины этих сопротивлений одинаковы. Проходящие через сопротивления токи создают падения напряжений на этих сопротивлениях, причем общее напряжение на выходе дискриминатора между точками A и $Б$ будет равно алгебраической сумме падений напряжений на R_1 и R_2. В рассмотренном случае напряжение между точками A и $Б$ будет равно нулю, так как падения напряжения на R_1 и R_2 равны и противоположны по знаку. Если в какой-то момент частота, подводимая к контурам L_1C_1 и L_2C_2, уменьшится, то она будет ближе к собственной частоте контура L_1C_1 и дальше от собственной частоты контура L_2C_2. При этом соответственно напряжение на контуре L_1C_1 увеличится, а напряжение на контуре L_2C_2 уменьшится.

Через сопротивление R_1 при этом потечет больший ток, а через сопротивление R_2 — меньший. В результате на выходе дискриминатора между точками A и $Б$ создается напряжение, определяемое как разность напряжений на сопротивлениях R_1 и R_2. В случае если частота изменится в сторону более высокой частоты, напряжение на контуре L_1C_1 уменьшится, а на контуре L_2C_2 увеличится и в результате на выходе дискриминатора создается напряжение, обусловленное разностью напряжений на сопротивлениях R_1 и R_2, но по сравнению с предыдущим случаем знак этого напряжения в точках A и $Б$ будет обратным. В этой схеме изменения частоты колебаний, подводимых к дискриминатору, приводят к появлению переменных напряжений звуковой частоты на выходе дискриминатора Чем больше будет отклонение частоты (в пределах полосы пропускания), тем больше будет амплитуда напряжения звуковой частоты между точками A и $Б$. Обычно расстояние по оси частот между вершинами резонансных кривых берут несколько больше ширины полосы пропускания. Это делается для того, чтобы при изменениях частоты колебаний избавиться от возможных искажений.

Большое распространение в приемниках частотной модуляции получила схема, изображенная на фиг. 14. Контуры L_1C_1 и L_2C_2 в этой схеме настроены на среднюю частоту полосы пропускания. Контур L_1C_1 связан с контуром L_2C_2 индуктивно, а также через емкость C_c подключенную к средней точке катушки L_2. При резонансе, т. е. когда на контур L_1C_1 подается частота, равная средней частоте полосы пропускания, высокочастотные напряжения на анодах диодов будут равны, а выпрямленное напряжение на выходе дискриминатора будет равно нулю. Благодаря изменениям фазовых соотношений в случае отхода частоты от средней высокочастотные

напряжения на диодах делаются различными и на выходе схемы появляется выпрямленное напряжение, величина и знак которого зависят от величины и знака отклонения частоты. Если частота меняется в результате частотной модуляции, то на выходе дискриминатора возникает звуковое напряжение.

В своей выпрямительной части эта схема подобна предыдущей, но изменения напряжений на диодах при отклонениях частоты в ней получаются не за счет различия резонансных кривых контуров, а за счет изменения фазовых соотношений. В этой схеме дроссель высокой частоты необходим для замы-



Фиг. 14. Схема двухтактного дискриминатора.

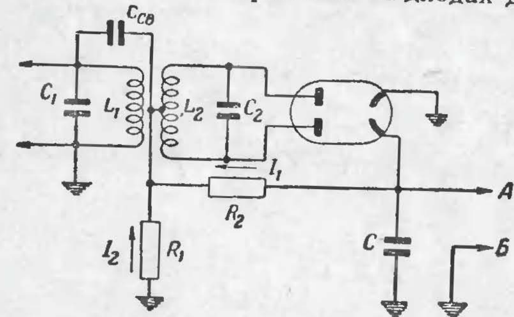
кания цепей выпрямленных токов обоих диодов и вместе с тем он препятствует шунтированию контура L_2C_2 нижним конденсатором C, который необходим для осуществления диодного детектирования. Более простой вариант этой схемы, позволяющий обходиться без дросселя, изображен на фиг. 15.

За дискриминатором в приемниках частотной модуляции часто ставят специальный частотный фильтр, ослабляющий воспроизведение высших звуковых частот. Как говорилось выше, это ослабляет влияние помех. Однако такой фильтр можно применять лишь в том случае, если при передаче производится соответствующий подъем высших звуковых частот. Характеристики фильтра в приемнике должны быть при этом согласованы с характеристиками передатчика.

Двухтактные схемы дискриминаторов слабо воспринимают колебания амплитуды сигналов и поэтому могут применяться в приемниках частотной модуляции без ограничителей.

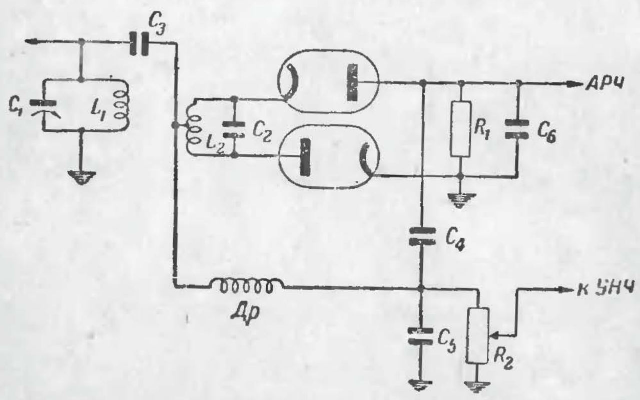
Существуют специальные схемы дискриминаторов, которые совершенно не реагируют на колебания амплитуды принимаемых сигналов и предназначаются для работы в приемниках без ограничителей. Простейшая из таких схем изображена на фиг. 16. В этой схеме, как и в предыдущих, система контуров

L_1C_1 и L_2C_2 выполнена таким образом, что высокочастотные напряжения на диодах оказываются равными одно другому, если частота равняется средней частоте полосы пропускания. При отклонениях частоты напряжения на диодах делаются не-



Фиг. 15. Схема двухтактного дискриминатора без дросселя.

равными. При равенстве напряжений на диодах выпрямленные токи текут через оба диода, через контур L_2C_2 и через сопротивления R_1 и R_2. При этом на сопротивлении R_1 образуется падение напряжения, которое заряжает конденсатор большой



Фиг. 16. Схема дискриминатора с самоограничением.

емкости C_6. При модуляции частоты напряжение на сопротивлении R_2. изменяется в соответствии с модуляцией.

Благодаря тому, что напряжение на конденсаторе большой емкости C_6 не может изменяться быстро, токи и напряжения в этой схеме не зависят от быстрых изменений амплитуды сигнала, вызываемых действием помех. Поэтому такая схема не требует ограничения. Однако, громкость приема при использовании такого дискриминатора зависит от силы принимаемого сигнала, тогда как в схемах с применением ограничителей такой зависимости нет. Это заставляет использовать в приемниках с рассмотренным дискриминатором автоматическую регулировку усиления. Напряжение для автоматической регулировки усиления снимается с конденсатора C_6.

При выборе схемы и конструировании приемника частотной модуляции нужно иметь в виду следующее: при сравнительно небольших расстояниях от передатчика возможно применить приемник прямого усиления даже без обратной связи. Схемы прямого усиления имеют преимущество в простоте налаживания приемника. Большую чувствительность дают схемы сверхрегенераторов с расстроенным контуром, однако они несколько более сложны в налаживании.

Применение сверхрегенерации в приемниках ЧМ позволяет при очень небольшом числе ламп получать достаточную чувствительность для приема сигнала, даже на сравнительно большом расстоянии от передатчика.

В сверхрегенераторе прием модулированных сигналов ведется при обратной связи, превышающей порог генерации. Колебания, возникающие в схеме, периодически гасятся введением в цепь сетки напряжения гасящей или, как ее еще называют, дробящей частоты. Величина гасящей частоты берется выше звуковой частоты, иначе она будет прослушиваться на выходе приемника.

Гасящая частота может создаваться как отдельной лампой (схема сверхзвукового генератора), так и создаваться той же лампой, которая служит для детектирования и усиления.

Так как действие схемы сверхрегенератора основано на изменении характера нарастания генерируемых колебаний под воздействием приходящих сигналов, то необходимо, чтобы за время вспышки колебаний они успевали достаточно возрасти, т. е. чтобы эти колебания имели большое число периодов. Поэтому схемы сверхрегенераторов применимы в основном на УКВ и поэтому же гасящая частота не должна быть очень высокой. Обычно ее выбирают порядка 20—100 *кгц*.

При этом чувствительность сверхрегенераторного приемника на УКВ может быть доведена до нескольких микровольт.

Сверхрегенеративный приемник мало подвержен действию импульсных помех, поэтому в нем можно не применять ограничителя. Кроме того, этот приемник обладает свойством

естественной автоматической регулировки усиления — сигналы выше определенного уровня не меняют напряжения на выходе.

Недостатками сверхрегенератора являются: сильное излучение в антенну и, следовательно, помехи окружающим радиоустановкам, значительные нелинейные искажения, меньшая помехоустойчивость по сравнению с супергетеродинным приемником ЧМ с ограничителем.

Для того, чтобы предотвратить излучение в антенну и помехи соседям, в приемнике необходимо перед каскадом сверхрегенератора применять каскад усиления высокой частоты. Для увеличения помехоустойчивости и для уменьшения нелинейных искажений можно применять два сверхрегенератора, симметрично расстроенных относительно средней частоты. Выходы обоих сверхрегенераторов соединяются по двухтактной схеме. Однако, такая схема сложна в выполнении и налаживании.

Схема супергетеродинного приемника частотной модуляции, состоящая из одного каскада высокой частоты, преобразователя, двух каскадов промежуточной частоты, ограничителя, дискриминатора и двух каскадов низкой частоты довольно громоздка, так как требует 8—9 ламп, но дает очень хорошие результаты как в отношении чувствительности, так и в отношении чистоты приема. Эту схему можно несколько упростить, не применяя каскадов высокой частоты и ограничителя. Каскад высокой частоты желателен при большом расстоянии до передатчика (30—40 *км*). При более близком расстоянии без него можно обойтись. Можно обойтись также и без ограничителя, так как при отсутствии последнего прием частотной модуляции, особенно при применении двухтактного частотного детектора, очень слабо подвержен помехам.

Особенное внимание при конструировании супергетеродина для приема частотной модуляции должно быть обращено на стабильность частоты гетеродина и на отсутствие в нем паразитной частотной модуляции. Контур гетеродина желательно выполнить настраивающимся с помощью небольшого конденсатора переменной емкости, чтобы его можно было подстраивать в процессе работы. Кроме того, в контур гетеродина желательно включить тикондовый конденсатор емкостью около 5 *мкмкф*; это уменьшит уход частоты гетеродина из-за самопрогрева. Особенно высокой стабильность частоты гетеродина должна быть в приемнике, принимающем сигналы узкополосной частотной модуляции.

Паразитная частотная модуляция в гетеродине может привести к большим искажениям. Причинами паразитной модуляции могут являться акустические воздействия громкоговорителя на лампу гетеродина, механические сотрясения, пульсация питающих напряжений и т. п. Гетеродин должен быть защищен от всех этих влияний. Для этого он должен быть жестко смонтирован, правильно расположен в приемнике и, кроме того, напряжения, подводимые к нему, должны быть хорошо отфильтрованы.

В каскадах усиления промежуточной частоты желательно применять лампы с большой крутизной — 6АС7, 6АБ7. При применении этих ламп получается коэффициент усиления на каскад порядка 70. Усилитель промежуточной частоты на одиночных контурах по сравнению с усилителем с полосовыми фильтрами значительно проще в настройке и дает несколько большее усиление, хотя и обладает меньшей избирательностью.

В каскадах усиления промежуточной частоты легко возникает самовозбуждение. Чтобы его предотвратить, необходимо располагать детали приемника таким образом, чтобы не возникало взаимных влияний катушек, проводников анодных и сеточных цепей и т. п. Все детали — конденсаторы, сопротивления — должны быть по возможности небольших размеров, а соединительные проводники наиболее короткими. Между некоторыми деталями, возможно, придется установить небольшие экраны.

НАСТРОЙКА ПРИЕМНИКА ЧАСТОТНОЙ МОДУЛЯЦИИ

Для настройки приемника частотной модуляции необходимо иметь генератор, чувствительный вольтметр постоянного тока и какой-либо индикатор высокочастотного напряжения. Генератор должен давать частоты, равные частоте принимаемого сигнала, частоте гетеродина, и, кроме того, он должен перекрывать диапазон, соответствующий полосе пропускания каскадов усиления промежуточной частоты приемника.

Антенный контур и контур каскада усиления высокой частоты настраиваются на частоту сигнала. Контур гетеродина приемника настраивается на частоту, отличную от частоты сигнала на величину промежуточной частоты. Контуры каскадов усиления промежуточной частоты должны быть отрегулированы и настроены так, чтобы весь усилитель промежуточной ча-

стоты равномерно пропускал всю необходимую полосу частот.

Если в усилителе промежуточной частоты применяются одиночные контуры, то каждый из них должен настраиваться на частоту, отличную от частоты другого. Например, первый контур настраивается на минимальную частоту полосы пропускания, второй контур — на максимальную частоту и третий — на среднюю.

Если в усилителе применяются полосовые фильтры, то все контуры их настраиваются на среднюю частоту полосы пропускания. Проверкой правильности регулировки и настройки усилителя промежуточной частоты в обоих случаях служит следующее: показания индикаторного прибора, включенного на выходе усилителя промежуточной частоты (до ограничителя), должны быть одинаковы при подаче от гетеродина максимальной и минимальной частот полосы пропускания. Если на этих крайних частотах показания прибора различны, то требуется дополнительная настройка контуров. Показания прибора на крайних частотах не должны отличаться от показаний прибора на средней частоте более чем на 10—20%. Если это не выполняется, необходимо отрегулировать связь контуров полосовых фильтров и уменьшить сопротивления, шунтирующие контуры.

Проверкой правильности работы ограничителя служит следующее: амплитуда напряжения на выходе ограничителя должна оставаться неизменной при увеличении амплитуды подаваемого на вход ограничителя напряжения выше порога ограничения. При этом выходное напряжение не должно меняться также при изменениях частоты входного напряжения в пределах полосы пропускания.

Наиболее тщательной должна быть настройка дискриминатора. Если в дискриминаторе применяется одиночный контур (несимметричная схема), то этот контур необходимо настраивать на максимальную или минимальную частоту полосы пропускания. Проверкой правильности настройки служит следующее: при подаче на усилитель промежуточной частоты от генератора частоты, равной средней частоте полосы пропускания, на нагрузке дискриминатора должно быть определенное постоянное напряжение.

При изменениях подаваемой частоты в пределах полосы пропускания это напряжение должно изменяться пропорционально изменениям частоты.

В случае применения дискриминатора по симметричной схеме с двумя контурами, настроенными на разные частоты, контуры должны быть настроены по генератору один на частоту несколько больше максимальной частоты полосы пропускания, а другой на несколько меньшую частоту, чем минимальная частота полосы пропускания усилителя промежуточной частоты. Кроме того, связи этих контуров с первичным контуром должны быть одинаковы. Проверкой служит следующее: при подаче от генератора средней частоты полосы пропускания постоянное напряжение на выходе дискриминатора должно быть равно нулю. При изменении частоты генератора на выходе дискриминатора должно возникать постоянное напряжение.

Если частота генератора увеличивается по сравнению со средней частотой на определенную величину, то на выходе дискриминатора должно появиться некоторое напряжение. Если частоту генератора уменьшить на ту же величину, то напряжение на выходе дискриминатора должно остаться по абсолютной величине таким же, как и в предыдущем случае, но по знаку оно должно быть противоположным.

Для настройки дискриминатора, выполненного по второй и третьей симметричным схемам,— необходимо контуры настраивать на величину средней частоты полосы пропускания и подбирать связь половин вторичного контура с первичным так, чтобы общее напряжение на выходе дискриминатора при подаче средней частоты равнялось нулю, а при установке генератора на крайние частоты полосы пропускания напряжения на выходе дискриминатора должны быть равными по абсолютной величине и обратными по знаку. Если эти напряжения не одинаковы, то требуются дополнительная регулировка связи и подстройка контуров дискриминатора. Во всех схемах напряжение на выходе дискриминатора должно изменяться в пределах полосы пропускания пропорционально изменениям частоты.

Практически удобно налаживать и настраивать приемник с конца схемы, т. е., проверив усилитель низкой частоты, настроить дискриминатор, затем каскады высокой частоты, гетеродин и антенный контур.

Настройка приемника частотной модуляции не проста, а главное, требует наличия генератора и измерительных приборов. Конструктору-радиолюбителю мы рекомендуем заняться вопросом разработки самодельных, упрощенных приборов для настройки УКВ аппаратуры.

УСИЛИТЕЛИ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ И ГРОМКОГОВОРИТЕЛИ ПРИЕМНИКОВ ЧАСТОТНОЙ МОДУЛЯЦИИ

Применение частотной модуляции на ультракоротких волнах позволяет передавать очень широкую полосу звуковых частот. Все воспринимаемые человеческим ухом частоты могут быть переданы передатчиком и приняты приемником. Все «тонкости» в звучании голоса и музыкальных инструментов могут быть воспроизведены такими, какие они есть в действительности. Но высокохудожественный прием возможен только при том условии, что не только передача, прием и усиление радиочастот происходят без искажений, но и усиление звуковых частот и воспроизведение их громкоговорителем являются безукоризненными.

При приеме обычных передач с амплитудной модуляцией на коротких и средних волнах передается суженная полоса частот. Здесь еще можно мириться с тем, что усилитель низкой частоты или громкоговоритель недостаточно хорошо воспроизводит высокие звуковые частоты. Здесь иногда это бывает даже полезно, так как снижается уровень шумов. В радиостанциях служебной связи с частотной модуляцией, когда передается разговорная речь, вопрос о качестве воспроизведения звука не имеет особенного значения, так как требуется только, чтобы передача была разборчивой. Вполне удовлетворительные результаты дает при этом посредственный динамик или телефонная трубка. При радиовещании с частотной модуляцией почти нет шумов, а полоса звуковых частот передается широкая. Искажать звук плохим усилителем низкой частоты или плохим динамиком при этом нежелательно. Многие преимущества радиовещания с частотной модуляцией при тщательно налаженном приемнике могут быть сведены на-нет плохим усилителем низкой частоты или плохим громкоговорителем. Усилитель низкой частоты для приемника частотной модуляции должен равномерно пропускать полосу частот в пределах от 40 до 10 тыс. *гц*. Он не должен, кроме того, иметь заметных нелинейных искажений (клирфактор не выше 2%).

В простых приемниках частотной модуляции можно применять схему двухкаскадного усилителя низкой частоты, причем первый каскад необходимо выполнять с нагрузкой в виде омического сопротивления, а второй каскад — с трансформаторным выходом. Величины емкостей должны быть подобраны таким образом, чтобы усиление не снижалось на самых низких частотах, т. е. переходная емкость должна быть взята по-

рядка 50 000—100 000 *мкмкф*, а емкость, параллельная сопротивлению смещения, должна быть величиной в десятки или сотни микрофарад.

Применение тонфильтров (регуляторов тона) в схемах приемников частотной модуляции желательно, но величины емкостей и сопротивлений должны значительно отличаться от величин тех же деталей, применяемых в усилителях низкой частоты приемников амплитудной модуляции или в радиограммофонных усилителях. Обычно для усилителей низкой частоты радиограммофона применяются фильтры, срезающие все частоты выше 5 000 *гц*. В приемнике частотной модуляции такой фильтр принесет большой вред. Желательно применение отрицательной обратной связи, так как отрицательная обратная связь улучшает частотную характеристику, уменьшает нелинейные искажения и повышает устойчивость усилителя.

Лампы могут быть взяты различных типов, однако при применении триода в выходном каскаде несколько уменьшаются нелинейные искажения.

В более мощных приемниках желательно применять двухтактные схемы. Двухтактные схемы уничтожают четные гармоники, появляющиеся в результате искажений, вносимых выходным каскадом. При высоких требованиях к качеству передачи двухтактный выходной каскад приемника частотной модуляции должен работать в режиме класса *А*, т. е. исходная рабочая точка должна выбираться на середине прямолинейного участка ламповой характеристики Такой режим позволяет обеспечить высокое качество воспроизведения звука. При правильном выполнении двухтактная схема может дать очень незначительные искажения.

Если к усилителю предъявляется требование максимальной экономии источников питания, то возможно применить выходной каскад, выполненный по двухтактной схеме, работающей в режиме *АВ* или в режиме *В*. Искажения при этих режимах несколько выше, однако выходная мощность, которую можно получить при тех же лампах и тех же источниках питания, значительно больше по сравнению с мощностью усилителя, работающего в режиме *А*. Искажения при работе усилителя в режиме *АВ* или в режиме *В* можно значительно уменьшить, применяя отрицательную обратную связь.

Очень хорошие результаты могут дать схемы двухканальных усилителей низкой частоты. При этих схемах усиление высоких и низких звуковых частот ведется после детектора отдельными усилителями и подается соответственно на два громкоговорителя, из которых один воспроизводит высокие

звуковые частоты, а второй — низкие. Такое устройство позволяет в широких пределах регулировать частотную характеристику воспроизводящего устройства и подбирать наиболее приятное для слуха и приближающееся к естественному звучание. Кроме того, выполнить и наладить отдельно усилители для высоких и низких звуковых частот, дающее небольшую величину искажений, проще, чем выполнить широкополосный неискажающий усилитель с общим каналом высоких и низких частот. Однако, такие схемы, как требующие удвоенного числа ламп, целесообразно выполнять лишь в установках мощного типа, например в клубных приемниках, в приемниках концертного типа коллективного пользования. В массовых приемниках индивидуального пользования вполне удовлетворительные результаты может дать двухламповый усилитель с отрицательной обратной связью и выходной лампой типа 6Ф6, 6V6 или 6Л6.

Довольно сложным является вопрос о выборе динамика для приемника частотной модуляции. Большинство маломощных динамиков, выпускаемых промышленностью в настоящее время, не рассчитано на пропускание такой широкой полосы звуковых частот, которую позволяет передавать частотная модуляция. Возможно, что в ближайшем будущем такие динамики будут выпущены нашей промышленностью. Пока же любителю лучше всего применять два-три динамика, подобранных таким образом, чтобы в сумме они передавали возможно более широкую полосу частот. Такие агрегаты, составленные даже из посредственных громкоговорителей, дают иногда очень хорошие результаты. Наибольшее затруднение вызывает подбор динамика, обеспечивающего воспроизведение высоких частот. Выпускаемые в настоящее время промышленностью маломощные динамики обычно плохо воспроизводят частоты выше 8 000 *гц*.

В нашей печати помещались описания самодельных динамиков, специально рассчитанных на воспроизведение высоких частот — так называемых пищалок. Одной из интересных тем для радиолюбителя-конструктора является разработка простых в выполнении громкоговорителей-пищалок и широкополосных громкоговорителей для приема частотной модуляции.

Низкие частоты многие динамики пропускают хорошо, однако радиолюбитель должен иметь в виду, что качество звучания, и особенно качество воспроизведения низких частот, зависит не только от самого громкоговорителя, но и от акустики ящика или доски, в которую этот громкоговоритель вмонтирован. Для воспроизведения низких частот доска или ящик

403—2

должны быть достаточной величины и сделаны из сравнительно толстого материала (дерево толщиной 1—2 *см*). Тонкие фанерные и пластмассовые ящики дают значительно худшие результаты. В некоторых случаях качество звучания громкоговорителя значительно повышается устройством особого акустического лабиринта.

Налаживание звуковой части радиоприемника нужно вести в целом, т. е. подбирать звучание громкоговорителей при работе с тем усилителем, с которым они будут работать в дальнейшем. Иногда неправильности работы громкоговорителей корректируются обратными неправильностями в работе усилителя.

СХЕМЫ И КОНСТРУКЦИИ ПРИЕМНИКОВ ЧАСТОТНОЙ МОДУЛЯЦИИ

В настоящее время в Советском Союзе работают три вещательных передатчика с частотной модуляцией: это — передатчики звукового сопровождения Московского и Ленинградского телевизионных центров и Московский радиовещательный передатчик с частотной модуляцией. В ближайшее время такие передатчики появятся во многих городах СССР, причем часть из них, несомненно, будет сооружена силами радиолюбителей.

Мы приводим здесь описания конструкций двух приемников, предназначенных для приема работ этих передатчиков.

При постройке и налаживании таких приемников следует иметь в виду, что для радиовещательных передач с частотной модуляцией отведен диапазон частот 42—50 *мггц*. В частности, Московский вещательный передатчик с частотной модуляцией работает на частоте 46,5 *мггц* (6,45 *м*). Наибольшая девиация частоты, установленная стандартом, составляет $\pm$ 75 *кгц*. Соответственно, полоса пропускания приемника, отсчитываемая на уровне двукратного ослабления сигнала, не должна быть уже 150—200 *мггц*.

Высшая звуковая частота, передаваемая частотной модуляцией, составляет 15 *кг*. Наконец, следует иметь в виду, что при передаче производится подъем высших звуковых частот, так что тракт низкой частоты приемника должен иметь устройства для ослабления воспроизведения высоких звуковых частот.

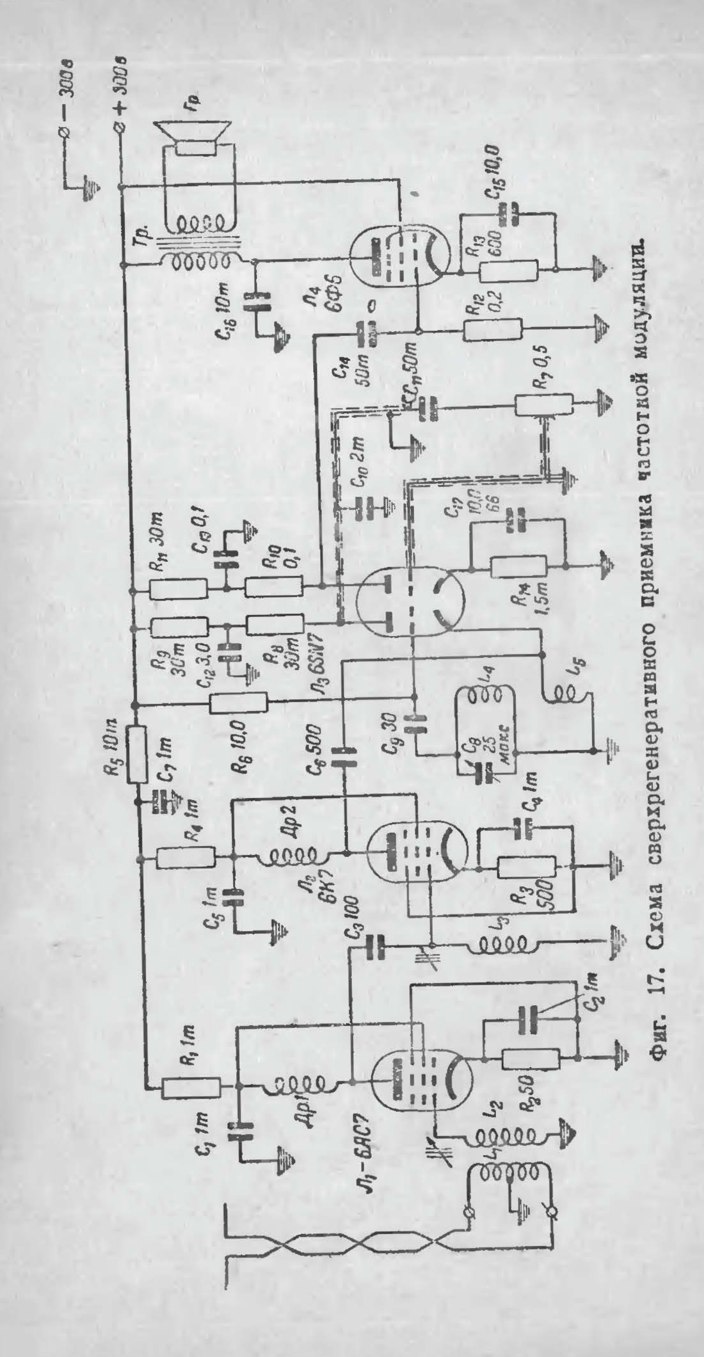
Сверхрегенеративный приемник частотной модуляции

В качестве примера одного из простейших приемников частотной модуляции рассмотрим схему и конструкцию приемника звукового сопровождения любительского телевизора ТАГ-5, разработанного Т. А. Гаухманом. Схема этого приемника приведена на фиг. 17. Она содержит всего 4 лампы (без выпрямителя) и дает хороший прием на расстоянии до 30—40 *км* от Московского или Ленинградского телецентров или от Московского передатчика частотной модуляции. Если прием ведется на более близких расстояниях, из схемы приемника можно исключить второй каскад. При желании несколько увеличить дальность приема лампу *6К7* во втором каскаде можно заменить лампой *6АС7*.

Изображенная схема содержит два каскада усиления высокой частоты, в которых работают лампы *6АС7* и *6К7*, сверхрегенеративный детекторный каскад, в котором используется левая половина лампы *6SN7*, и два каскада усиления низкой частоты, собранные на правой половине лампы *6SN7* и на лампе *6Ф6*. Детектирование производится в сверхрегенеративном каскаде, контур которого L_4C_8 несколько расстраивается относительно средней частоты сигнала. Этот контур должен быть высокого качества, для чего катушка L_4 мотается либо на керамическом каркасе, либо же делается бескаркасной. В качестве конденсатора C_8 используется воздушный триммер высокого качества, емкость которого может меняться от 5 до 25 *мкмкф*. Ось этого конденсатора выводится на лицевую панель и служит для настройки приемника на различные станции. Для получения устойчивой работы сверхрегенератора на сетку его подается положительное напряжение через сопротивление R_6 в 10 *мгом*. Конденсатор C_{10}, шунтирующий анод лампы на землю, служит блокировкой высокой частоты. От величины этого конденсатора зависит также частота прерывания колебаний сверхрегенератора. В изображенной схеме эта частота равна 20—30 *кгц*. Ограничителя в схеме нет.

Каскады усиления высокой частоты не только повышают громкость приема, но и препятствуют проникновению частоты сверхрегенератора в антенну. Емкостями контуров в этих каскадах служат распределенные емкости монтажа и междуэлектродные емкости ламп. Эти контуры настраиваются при наладке приемника на частоту, соответствующую середине принимаемого диапазона. Широкая полоса пропускания позволяет не перестраивать их при перестройке приемника с одной стан-

467—1

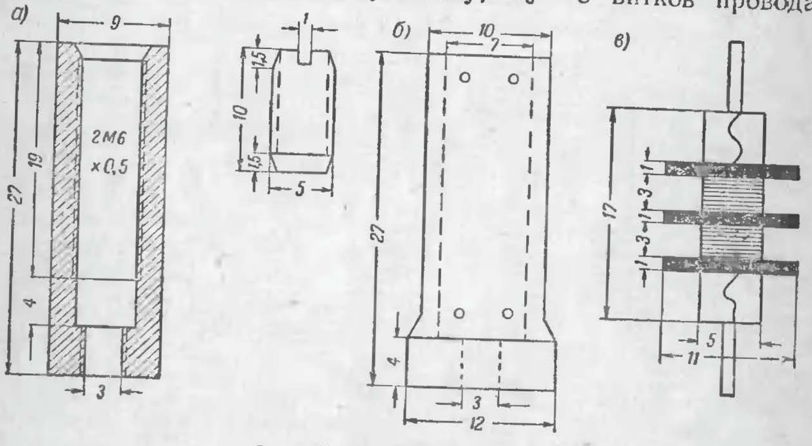


Фиг. 17. Схема сверхрегенеративного приемника частотной модуляции.

ции на другую. Схема усилителя низкой частоты обычная. Конденсаторы C_{10} и C_{16} ослабляют усиление высоких звуковых частот, компенсируя подъем последних в передатчике. Сопротивление R_7 служит регулятором громкости.

Величины деталей приемника приведены на схеме.

Катушки L_1, L_2, L_3 намотаны на эбонитовых или плексигласовых каркасах, размеры которых приведены на фиг. 18,*а*. Катушки настраиваются латунными сердечниками. Катушка L_2 имеет 11 витков провода ПЭШО 0,8; L_1 — 4 витка (со средней точкой) провода ПЭШО 0,3, намотанных поверх катушки L_2 ближе к ее заземленному концу; L_3 — 8 витков провода



Фиг 18 Каркасы катушек.

ПЭШО 0,8. Катушки L_4 и L_5 мотаются на керамическом каркасе с металлическим основанием, размеры которого приведены на фиг. 18,*б*. Катушка L_4 имеет 9 витков ПЭШО 0,6. Нижний конец обмотки припаян к металлическому основанию каркаса. Катушка L_6 состоит из трех витков ПЭШО 0,3, намотанных поверх катушки L_4 в ту же сторону, начало ее также припаивается к основанию каркаса. Все катушки мотаются виток к витку (без зазоров).

Дроссели $Др_1$ и $Др_2$ наматываются на сопротивлениях типа ТО 0,25 *вт* величиной выше 50 000 *ом*. Намотка состоит из двух секций, в каждую секцию укладывается по 50 витков провода ПЭШО 0,15 (фиг. 18,*в*).

Выходной трансформатор рассчитывается под лампу *6Ф6* и применяемый динамик.

Монтаж приемника должен быть выполнен очень тщательно, с рациональным размещением деталей и очень короткими

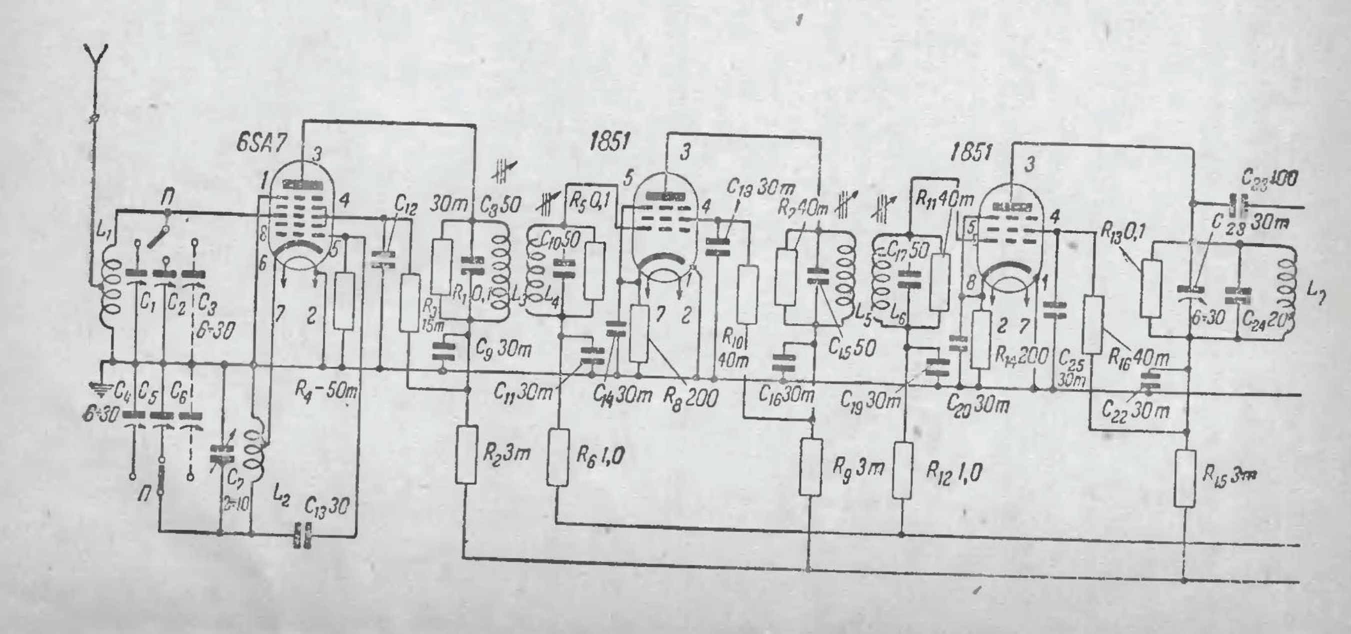
соединительными проводами между ними. Особенное внимание надо обратить на то, чтобы катушки L_4, L_5 и конденсатор C_8 располагались вблизи от лампы *6SN7* с тем, чтобы провод, идущий от катода *6SN7* к катушке L_5, был возможно короче.

Любительский супергетеродинный приемник частотной модуляции

Схема и конструкция этого приемника разработаны Ф. И. Тарасовым. Приемник имеет всего 7 ламп, из которых шесть используются в собственно приемных каскадах, тогда как седьмая является кенотроном выпрямителя (фиг. 19).

Вход приемника рассчитан для работы от обычной комнатной антенны. При желании повысить дальность приема надо использовать диполь и изменить схему входа так, как это было сделано в предыдущей конструкции. Входной контур при помощи двух триммеров C_1 и C_2, переключаемых переключателем настройки, настраивается на частоты двух принимаемых станций. При желании число фиксированных настроек можно увеличить до трех, используя третий триммер C_3. Преобразователь частоты собран по обычной схеме на лампе *6SA7*. Гетеродинный контур также имеет фиксированные настройки, создаваемые переключаемыми триммерами C_4, C_5 и C_6. Для точной подстройки частоты гетеродина служит переменный конденсатор малой емкости C_7, ось которого выведена на лицевую панель приемника. Частота гетеродина ниже принимаемой на величину промежуточной частоты, которая в этом приемнике равна 4,3 *мггц*.

В анодную цепь преобразовательной лампы включен полосовой фильтр C_8L_3—$C_{10}L_4$. Для расширения полосы пропускания контуры этого и последующих фильтров шунтируются сопротивлениями. Напряжение с этого полосового фильтра подается на первый каскад усиления промежуточной частоты, собранный на лампе *1851* (лампа *1851* может быть заменена лампой *6АС7*). В анодную цепь этой лампы включен второй полосовой фильтр $C_{15}L_5$—$C_{17}L_6$. Затем следует второй каскад усиления промежуточной частоты также на лампе *1851*, в анодную цепь которого включен первичный контур дискриминатора. В этом приемнике используется дискриминатор с самоограничением, что позволило исключить из схемы приемника ограничитель, но заставило ввести в схему приемника автоматическую регулировку усиления (АРУ). Напряжение АРУ снимается с конденсатора C_{21}. Звуковое напряжение снимается с сопротивления R_{13}. Цепь R_{20}—C_{32} служит для уменьшения

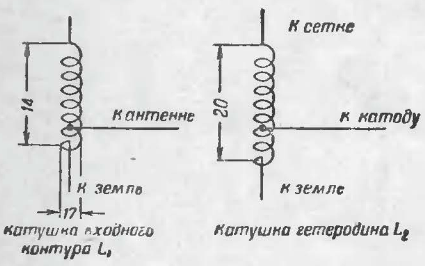


Фиг. 19. Супергетеродинный приемник частотной модуляции.

усиления высоких звуковых частот, подчеркиваемых в передатчике. Усилитель низкой частоты выполнен на лампах 6Ж7 и 6V6C по обычной схеме.

R_{18} служит регулятором громкости, а R_{27} — регулятором тембра.

Все детали приемника располагаются на металлическом шасси обычной конструкции. На лицевую панель шасси выводятся четыре ручки управления — переключатель станций, подстройка, регулятор громкости и регулятор тембра. Кроме того, на лицевую панель шасси выводятся оси триммеров фиксированной настройки, настройка которых производится в процессе налаживания приемника «под шлиц». Гнезда для включения антенны, заземления, адаптера и питания располагаются на задней стенке шасси. Остальные детали размещаются на верхней панели шасси.



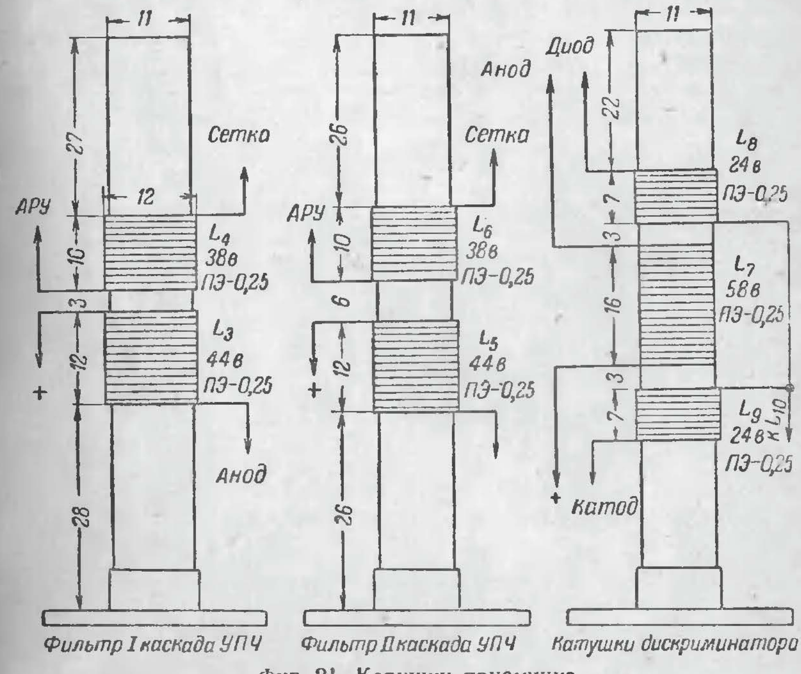
Фиг. 20. Катушки.

Входная катушка L_1 состоит из пяти витков с отводом от первого, ближайшего к корпусу витка. К этому витку присоединяется антенна. Катушка гетеродина состоит из семи витков с отводом от второго витка, считая от заземленного конца.

Катушки входного контура L_1 и контура гетеродина выполнены в виде бескаркасных спиралей из медного провода диаметром 1,5 *мм*, концы которых жестко припаиваются к неподвижным точкам монтажа. Размеры этих катушек показаны на фиг. 20. Эти катушки располагаются под верхней панелью шасси на некотором расстоянии одна от другой. Катушки контуров полосовых фильтров и дискриминатора мотаются на каркасах от фильтров промежуточной частоты приемника 6Н1 (используются магнетиты, экраны и каркасы). Расположение катушек на каркасах, данные витков и включение концов указаны на фиг. 21. Все катушки — однослойные и мотаются в одном направлении проводом ПЭ-0,25. Для удобства регулировки связи контуров полосовых фильтров одна из катушек каждого фильтра мотается на бумажной гильзе, которая может передвигаться вдоль каркаса.

Для симметрии схемы дискриминатора катушка его вторичного контура разбивается на две половины L_8 и L_9, которые помещаются по бокам катушки первичного контура L_7. Обе

эти катушки L_8 и L_9 мотаются на бумажных гильзах и могут перемещаться по каркасу. Их настройка осуществляется магнетитовыми сердечниками, которые укорачиваются до 15 *мм*. Настройка первичного контура дискриминатора производится триммером C_{23}. Концы катушек припаиваются к выводным лепесткам каркасов вместе с конденсаторами и сопротивлениями данного контура, которые помещаются в том



Фиг. 21. Катушки приемника.

же экране. Катушка L_{10} — однослойная, диаметром 11 *мм*, длина намотки 22 *мм*, провод ПЭ-0,15. Она может быть заменена любым коротковолновым дросселем.

Конденсатор подстройки контура гетеродина C_7 переделан из подстроечного триммера с воздушным диэлектриком, в котором удлинена ось и удалены все пластины, кроме одной неподвижной и двух подвижных.

Остальные детали — обычные. Динамик должен быть хорошего качества. Налаживание приемника следует начать с установления правильного электрического режима ламп. Затем проверяется работа усилителя низкой частоты. После это-

го производится настройка контуров дискриминатора $L_7C_{23}C_{24}$—$L_8L_9C_{29}$. Каждый из этих контуров настраивается на промежуточную частоту. Индикатором настройки может служить чувствительный вольтметр постоянного тока, присоединяемый параллельно R_{17}. Момент достижения резонансной настройки обоих контуров отмечается по максимальному отклонению стрелки этого прибора. При настройке вторичного контура $L_8L_9C_{29}$ следует добиваться получения резонанса при одинаковом положении магнетитов для того, чтобы индуктивности L_8 и L_9 были равны и схема была симметрична.

Затем производится проверка линейности характеристики дискриминатора. Для этого расстраивают генератор относительно резонансной частоты контуров дискриминатора и производят измерение напряжения на сопротивлении R_{18}. Это напряжение должно изменяться пропорционально величине расстройки в пределах отклонений частоты ± 75 *кгц*. В случае, если такой линейной зависимости нет, необходимо изменить величину связи катушек L_8 и L_9 с катушкой L_7. Меняя связь, надо следить за сохранением симметрии схемы, т. е. за тем, чтобы катушки L_8 и L_9 были расположены на одинаковых расстояниях от катушки L_7. Изменив связь, следует подстроить контуры и проверить получившуюся характеристику.

Настройка контуров усилителя промежуточной частоты производится, как обычно, по максимуму постоянного напряжения на R_{17}. При этом следует отключить цепь АРЧ. Полоса пропускания должна быть настолько широкой, чтобы при расстройках генератора на ± 75 *кгц* напряжение на R_{17} изменялось не больше чем в 2 раза. Если это условие не выполняется, необходимо увеличить связь контуров полосовых фильтров и уменьшить величину шунтирующих сопротивлений. После перемещения катушек контуры необходимо подстраивать.

Последней операцией является настройка контура гетеродина и входного контура. Эту настройку следует производить по ультракоротковолновому генератору или непосредственно по станции. Настройка производится посредством триммеров, момент точной настройки определяется по максимуму постоянного напряжения на R_{17}. Для того, чтобы этот максимум был заметнее, цепь АРЧ необходимо отключить. Контур гетеродина настраивается на частоту, лежащую ниже частоты принимаемого сигнала на 4,3 *мггц*. Настройка этого контура производится при среднем положении подстроечного конденсатора.

ТЕМЫ И ЗАДАЧИ КОНСТРУКТОРУ И ЭКСПЕРИМЕНТАТОРУ ПО ВОПРОСАМ УКВ И ЧМ

Неискаженный прием, большая эффективность работы передатчика, отсутствие различных помех, в том числе и взаимных помех радиостанций, возможность применения эффективных антенн и многие другие достоинства делают связь на ультракоротких волнах с применением частотной модуляции ценнейшим средством высококачественного радиовещания и оперативной радиосвязи. Частотная модуляция является сравнительно молодой областью радиотехники. Многие вопросы, связанные с передачей и приемом колебаний с частотной модуляцией, еще не являются окончательно решенными и требуют большой творческой и экспериментальной работы. Радиолюбители и радиоспециалисты своими предложениями, несомненно, внесут в эту область еще очень много нового.

Какие же основные задачи стоят сейчас в области частотной модуляции перед радиолюбителями, конструкторами и изобретателями?

В первую очередь необходимо создать конструкции приемников частотной модуляции, возможно более простые по выполнению и сохраняющие, несмотря на свою простоту все положительные качества сложных приемников частотной модуляции, т. е. отсутствие частотных и нелинейных искажений и эффективное подавление шумов и помех. Здесь можно итти по пути использования одной и той же лампы в различных каскадах, по пути применения комбинированных ламп, по пути использования новых схем и методов приема. При применении схем сверхрегенераторов возможно создание двух- или трехламповых схем, дающих вполне удовлетворительные результаты.

С задачей об упрощении приемника связана задача создания комбинированного приемника для приема радиовещательных станций с частотной модуляцией на УКВ и с амплитудной модуляцией в коротковолновом, средневолновом и длинноволновом диапазонах. Здесь необходимо возможно более простым путем (может быть, применением несложных переключений) иметь возможность на один приемник принимать станции как УКВ, так и других диапазонов, т. е. иметь подлинно всеволновый приемник. Такой приемник для наилучшего использования деталей и ламп должен иметь возможно большее число элементов схемы, общих для приема частотной и амплитудной модуляции. Не только выпрямитель и каскады низкой часто-

ты, но и детектор, каскады усиления промежуточной частоты, гетеродин, смеситель и системы авторегулировок должны быть у этих приемников общими.

Особое внимание должно быть обращено на разработку неискажающих широкополосных систем усилителей низкой частоты и громкоговорителей. Только при наличии высококачественного воспроизведения низкой частоты могут быть полностью осуществлены возможности художественного приема при частотной модуляции. Возможно, радиолюбителям придется разработать специальные самодельные конструкции широкополосных динамиков и агрегатов громкоговорителей.

Вопросы конструкции передатчиков частотной модуляции также очень актуальны. Создание простого и вместе с тем стабильного передатчика является очень интересной темой. Передатчик в 50—100 *вт* с частотной модуляцией может обслуживать сравнительно большой район и служить не только для экспериментальной работы, но и для местного вещания. Особенно интересна тема разработки портативных приемнопередающих радиостанций с частотной модуляцией малой мощности, возможно меньшего веса и размера и наиболее простых по устройству. Такие радиостанции особенно пригодны для экспериментальной работы в области прохождения радиоволн в той или иной местности. Эти портативные радиостанции могут найти также применение для разного рода служебной и оперативной связи — для связи в колхозах, для связи экспедиций с базой и т. п.

Эффективность работы передатчика делает частотную модуляцию особенно пригодной для портативных радиостанций. При том же весе и тех же лампах передатчик с частотной модуляцией по сравнению с передатчиком с амплитудной модуляцией может перекрыть значительно большее расстояние. Меньшее влияние помех при использовании частотной модуляции является очень ценным качеством для подвижных радиостанций, работающих иногда в самых неблагоприятных условиях с точки зрения помех. Например, работая на-ходу в автомашине с радиостанцией частотной модуляции, мы не испытываем никаких влияний от системы электрического зажигания, тогда как при работе с радиостанцией амплитудной модуляции прием в результате помех от зажигания может оказаться совершенно неразборчивым. В портативных радиостанциях возможно (для экономии веса) применять трансиверные схемы, т. е. такие схемы, в которых одни и те же детали и лампы путем переключений используются как в схеме передатчика, так и в схеме приемника.

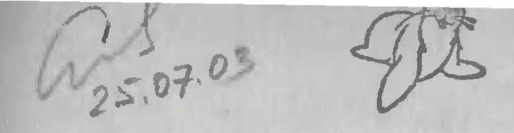
Очень интересна и актуальна тема об увеличении дальности приема частотной модуляции. Один из возможных вариантов решения этого вопроса — создание простых и надежных ретрансляционных станций. Передача по цепочке станций, из которых каждая принимает сигнал предыдущей и передает его последующей станции, при частотной модуляции возможна на сотни километров без заметных искажений. Установка нескольких таких станций может позволить, например, принимать московские передачи радиовещания (и телевидения) в других городах и дальних колхозах. Здесь открываются большие возможности для экспериментальной работы радиоклубов и отдельных радиолюбителей.

Дальность связи на УКВ увеличивается при подъеме антенны над землей. Создание простых и эффективных антенных устройств с высоким подъемом над землей, а также направленных антенных устройств, значительно увеличивающих дальность связи и повышающих отношение $\frac{\text{полезный сигнал}}{\text{помеха}}$, является одной из важнейших тем.

Сложные условия распространения УКВ в условиях большого города вызывают необходимость в экспериментальной работе по изучению распространения УКВ и, в особенности, по распространению УКВ на предельных расстояниях. К этому же вопросу относятся экспериментальные наблюдения в области влияния атмосферных условий и всякого рода помех на прием УКВ с частотной модуляцией. Интересно исследовать особенности работы с различными величинами девиации частоты. Только большой опыт многих радиолюбителей может создать полное представление о всех особенностях поведения УКВ в сложных условиях и даст возможность сделать связь еще более надежной.

Не только решение «больших проблем» в области частотной модуляции требует внимания со стороны конструктора, изобретателя и экспериментатора-радиолюбителя. Многие «мелочи» также являются очень существенными — конструкции деталей, методы настройки, правила обращения с радиоаппаратурой частотной модуляции. Решение всех этих вопросов позволит еще больше усовершенствовать и развить радиосвязь и радиовещание с применением частотной модуляции.

СОДЕРЖАНИЕ



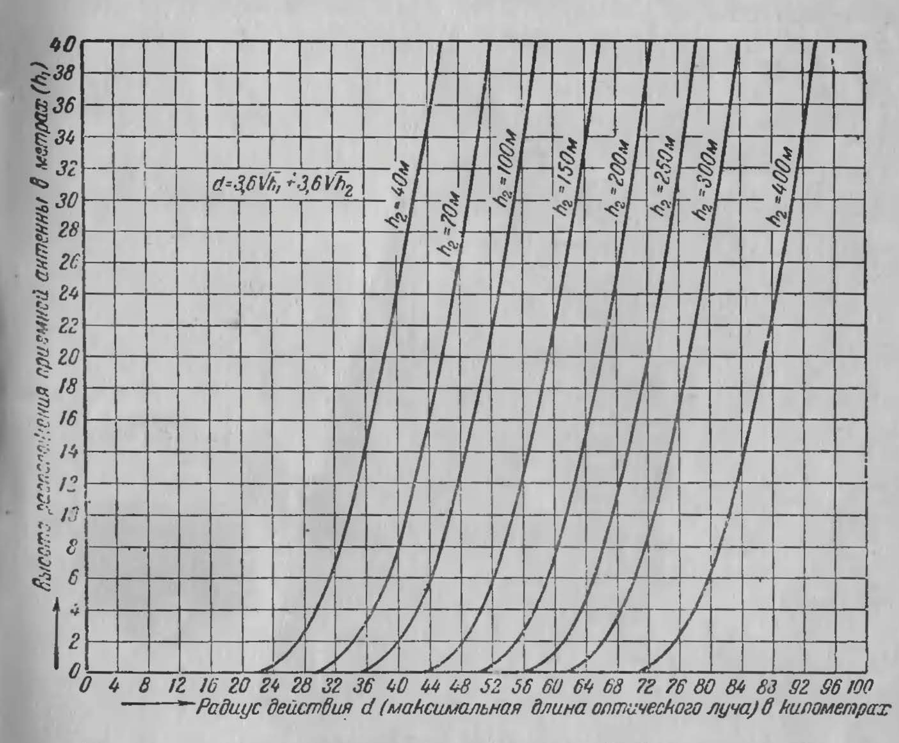


График для определения дальности связи на УКВ в зависимости от высоты подъема приемной и передающей антенн (h_2 — высота передающей антенны).